



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Abteilung Energiewirtschaft
Sektion Analysen und Perspektiven

Energieperspektiven 2050

Anhänge zur Zusammenfassung

- Anhang 1: Sensitivitäten Zubau Stromproduktion Photovoltaik**
- Anhang 2: Vertiefung einzelner Abschnitte der Zusammenfassung**
- Anhang 3: Modellgrundlagen und ihre Schnittstellen**

5. Oktober 2013

Anhang 1: Sensitivitäten Zubau Stromproduktion Photovoltaik.....	1
Anhang 2: Vertiefung einzelner Abschnitte der Zusammenfassung	5
1. Endenergienachfrage und CO₂-Emissionen (ergänzend zu Kapitel 4 Zusammenfassung).....	5
1.1 Endenergienachfrage nach Energieträgern.....	5
1.2 Endenergienachfrage nach Verwendungszwecken.....	6
1.3 Endenergienachfrage nach erneuerbaren Energieträgern, Bereich Wärme und Mobilität.....	6
1.4 Endenergienachfrage nach fossilen Energieträgern.....	8
2. Elektrizitätsnachfrage (ergänzend zu Kapitel 5 Zusammenfassung).....	9
2.1 Elektrizitätsnachfrage nach Verwendungszwecken.....	9
3. Direkte Kosten (ergänzend zu Kapitel 9 Zusammenfassung)	10
3.1 Mehrinvestitionen Sektor Haushalte „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ verglichen mit „Weiter wie bisher“	10
3.2 Mehrinvestitionen Sektor Industrie und Dienstleistungen „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, verglichen mit „Weiter wie bisher“	11
3.3 Mehrinvestitionen Sektor Verkehr „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ verglichen mit „Weiter wie bisher“	12
Anhang 3: Modellgrundlagen und ihre Schnittstellen.....	13
1. Vorbemerkungen	13
2. Historische Einordnung.....	13
3. Begriffliches: Szenarien und Modelle.....	14
4. Modellbeschreibungen	15
4.1 Energiesystemmodelle.....	15
4.1.1 Grundsätzliche Ausgestaltung der Energiesystemmodelle.....	15
4.1.2 Funktionsweise der Energiesystemmodelle Nachfrage	15
4.1.3 Energiesystemmodell Elektrizitätsangebot.....	16
4.2 Einschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen.....	17
4.3 Netzmodelle	18
4.4 Zusammenspiel der verwendeten Modelle.....	19
5. Vorgaben	19
5.1 Wenn-Vorgaben für die Szenarien	19
5.2 Sozio-ökonomische Rahmendaten	22
5.3 Abgeleitete Mengengerüste aus den Rahmendaten.....	23
5.3.1 Haushaltssektor.....	23
5.3.2 Industrie und Dienstleistungssektor	24
5.3.3 Verkehr.....	27
5.4 Internationale Rahmenbedingungen	27
5.4.1 Internationale Wirtschaftsentwicklung	27
5.4.2 Preise und ihre Anwendung in den Modellen	27
6 Literaturangaben	29

Anhang 1: Sensitivitäten Zubau Stromproduktion Photovoltaik

Für die Szenarien „Weiter wie bisher“ (WWB), „Massnahmen Bundesrat“ (POM) und „Neue Energiepolitik“ (NEP) sind drei Sensitivitäten der Stromproduktion aus Photovoltaik berechnet worden, um die Auswirkungen auf die Erzeugungsstruktur und die Kosten eines schnellen Zubaus von PV aufzuzeigen. Basis der Berechnungen bildet die Stromangebotsvariante C&E (Stromproduktion fossilthermisch und erneuerbar).

- Sensitivität 1:** - Bis 2012 wird der effektiv beobachtete Zubau verwendet.
 - Von 2013 bis 2016 wird der erwartete Zubau verwendet, welcher sich aus der Umsetzung der parl. Initiative 12.400 ergibt.
 - von 2017 bis 2050 erreicht ein logistischer Wachstumspfad in 2050 die Produktion der Variante C&E des Szenarios POM von 11.12 TWh (unverändert).
- Sensitivität 2:** - Bis 2016 wird die Sensitivität 1 verwendet.
 - Kostenoptimierung von GuD, PV und Stromimporten. Als Alternative wird ein langsamerer Zubau, bzw. einen schnellerer Zubau von PV untersucht. Letzterer bewirkt, dass Gaskombikraftwerke später zugebaut werden müssen.
 - Es wird ein im Wesentlichen logistisches PV Wachstum auf eine Produktion von 14 TWh in 2050 angenommen.
- Sensitivität 3:** - Bis 2016 wird die Sensitivität 1 verwendet.
 - Ab 2016 schneller Zubau von PV (12 TWh bis 2025, 14 TWh bis 2035), danach konstant, das Ziel der Sensitivität 2 von 2050 wird bereits in 2035 erreicht, der Wachstumspfad für PV liegt über den anderen Sensitivitäten.

In der Tabelle A1-1 ist die Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen der Stromangebotsvarianten C&E und den Sensitivitäten 1 bis 3 dargestellt. Die Entwicklung der Sensitivität 1 bildet die Grundlage für die Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050. Damit sind die Aktualisierungen mitberücksichtigt, welche sich aufgrund der parlamentarischen Initiative 12.400 ergeben. Die Erhöhung der Fördermittel im Vergleich zu den zum Zeitpunkt der Erstellung der Energieperspektiven 2050 vorgegebenen Mitteln bewirken bis 2020 mehr als eine Verdoppelung der Stromproduktion mit Photovoltaikanlagen. Die Sensitivitäten 2 und 3 erhöhen die Stromproduktion mit Photovoltaik nochmals. Während die Sensitivität 1 in 2050 die Stromproduktion der Angebotsvariante C&E erreicht, wird in den Sensitivitäten 2 und 3 in 2050 von einer Stromproduktion von rund 14 TWh ausgegangen. Dieser Wert liegt um rund 3 TWh über dem Produktionswert der Stromangebotsvariante C&E.

Tabelle A1-1: Stromerzeugung aus Photovoltaikanlagen nach Stromangebotsvarianten, in TWh

	2010	2020	2035	2050
C&E	0.08	0.52	4.44	11.12
C&E Photovoltaik Sensitivität 1	0.08	1.26	7.03	11.12
C&E Photovoltaik Sensitivität 2 Altern. I	0.08	0.92	10.69	14.04
C&E Photovoltaik Sensitivität 2 Altern. II	0.08	0.92	10.69	14.04
C&E Photovoltaik Sensitivität 3	0.08	5.80	14.03	14.04

Varianten: C & E: Fossil-zentral und Erneuerbar
 E: Erneuerbar, verbleibende Stromlücke wird mit Importen gedeckt
 WKK: In allen Angebotsvarianten autonomer Zubau bis 2050
 Quelle: Prognos, 2012, 2013

Die unterschiedlichen Zubaugeschwindigkeiten der Photovoltaikanlagen wirken sich auf die abdiskontierten Kosten des Zubaus auf (siehe Tabelle A1-2).

Tabelle A1-2: Gesamtkosten Zubau der Angebotsvarianten nach Szenarien in Mrd. (kum. und abdisk.)

Stromangebotsvariante	Kosten in Mrd. Franken 2010 - 2050 kumuliert und abdiskontiert		
	„Weiter wie bisher“	„Massnahmen Bundesrat“	„Neue Energiepolitik“
C&E	75.4	65.6	64.2
C&E Photovoltaik Sensitivität 1	75.8	67.4	66.8
C&E Photovoltaik Sensitivität 2 Var. I	77.1	69.1	68.4
C&E Photovoltaik Sensitivität 2 Var. II	77.0	69.0	68.2
C&E Photovoltaik Sensitivität 3	86.1	78.9	78.0

Varianten: C & E: Fossil-zentral und Erneuerbar
 E: Erneuerbar, verbleibende Stromlücke wird mit Importen gedeckt
 WKK: In allen Angebotsvarianten autonomer Zubau bis 2050
 Quelle: Prognos, 2012, 2013

Der schnellere Zubau von Photovoltaikanlagen bewirkt eine Erhöhung der Kosten des Zubaus, da die Investitionskosten neuer Anlagen zwar laufend sinken, die Gestehungskosten aber um so höher sind, je früher zugebaut wird, was sich entsprechend auf die Gesamtkosten auswirkt (siehe Tabelle A1-2, Kosten der Sensitivitäten und Tabelle A1-1).

Der beschleunigte Ausbau der Photovoltaikproduktion wirkt sich auf verschiedene Positionen der Elektrizitätsbilanz aus (siehe Tabelle A1-3). In der Tabelle A1-3 sind die Strombilanzen der Angebotsvarianten C&E, C&E Photovoltaik Sensitivität 1 und C&E Photovoltaik Sensitivität 3 miteinander verglichen.

Der verstärkte Zubau von Photovoltaik hat einerseits zur Folge, dass die Produktion von Strom mit fossil-thermischen Kraftwerken (GuD) in den beiden Sensitivitätsvarianten tiefer liegt als in der Variante C&E, andererseits bewirkt die Mehrproduktion von Strom aus erneuerbarer Produktion (Photovoltaik), dass ein Produktionsüberschuss zu exportieren oder speichern ist.

Tabelle A1-3: Szenario „Massnahmen Bundesrat“, Elektrizitätsversorgung hydrologisches Jahr der Angebotsvarianten C&E ohne und mit Sensitivitäten 1 und 3, in TWh

	2000	2010	"Massnahmen Bundesrat"								
			Variante C&E			Variante C&E Sensitiv. 1			Variante C&E Sensitiv. 3		
			2020	2035	2050	2020	2035	2050	2020	2035	2050
Wasserkraft	38.38	35.42	41.96	43.02	44.15	41.96	43.02	44.15	41.96	43.02	44.15
davon neue			5.09	6.48	8.57	5.09	6.48	8.57	5.09	6.48	8.57
KKW	24.73	25.13	21.68			21.68			21.68		
Fossile KW	1.79	2.18	3.13	15.21	10.65	3.13	13.69	10.65	3.13	11.8	9.87
bestehende	1.79	2.18	1.48	0.32		1.48	0.32		1.48	0.32	
neue Kombi-KW				11.63	7.20		10.11	7.20		8.22	6.41
neue fossile WKK			1.65	3.26	3.45	1.65	3.26	3.45	1.65	3.26	3.45
Erneuerbare	0.81	1.38	3.68	11.94	24.22	4.42	14.53	24.22	8.97	21.53	27.14
davon neue			2.77	11.84	24.22	3.51	14.43	24.22	8.05	21.43	27.14
Mittlere Bruttoerzeugung	65.71	64.11	70.45	70.17	79.02	71.19	71.24	79.02	75.74	76.35	81.15
Verbrauch Speicherpumpen	2.22	2.56	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54	7.54
Mittlere Nettoerzeugung	63.49	61.55	62.91	62.63	71.48	63.65	63.69	71.48	68.2	68.80	73.61
Importe	18.72	17.24	10.06	2.61	0	10.06	2.61	0.00	10.06	2.61	0
bestehende Bezugsrechte	18.72	17.24	10.06	2.61		10.06	2.61		10.06	2.61	
neue Importe											7.2
Exporte	26.07	15.19	8.97	2.26	5.53	9.71	3.34	5.53	14.25	8.45	7.66
Lieferverpflichtungen	2.83	2.26	2.26	2.26		2.26	2.26		2.26	2.26	
übrige Exporte	23.24	12.93	6.71	0.00	5.53	7.45	1.08	5.53	11.99	6.19	7.66
Landesverbrauch	56.14	63.60	64.00	62.98	65.95	64.00	62.98	65.95	64.01	62.97	65.95

Varianten: C & E: Fossil-zentral und Erneuerbar mit Sensitivitäten PV
WKK: In allen Angebotsvarianten autonomer Zubau bis 2050

Quelle: Prognos, 2012, 2013

Wichtigste Resultate:

- Der beschleunigte Zubau PV bewirkt eine Erhöhung der EE-Produktion und der inländischen Erzeugungsüberschüsse, der exportiert (Tabelle A1-3) oder zusätzlich gespeichert werden muss. Die Erzeugungsüberschüsse sind in der Sensitivität 3 am höchsten.
- Die abdiskontierten Gesamtkosten nehmen für die Sensitivität 1 rund 2 Mrd. Fr. zu (Tabelle A1-2). Einerseits erhöhen sich die Kosten des Zubaus der EE (PV) um 4 Mrd. Fr. Andererseits bewirkt der Zubau, dass je rund 1 Mrd. Fr. weniger in konventionell-thermische Kraftwerke (GuD) und WKK fließen.

- In der Sensitivität 3 mit einem starken und raschen Zubau von PV bis 2025 steigen die abdiskontierten Netto Gesamtkosten um 14 Mrd. Fr. an (Tabelle A1-2). Dem Anstieg der Nettozubauposten von PV von 19 Mrd. Fr. verglichen mit dem Szenario C&E stehen Minderkosten von 4 Mrd. Fr. für GuD und 1 Mrd. Fr. für WKK gegenüber.
- Regelfähige Anlagen sowie Backup-Erzeugung sind bei einem hohen PV-Ausbau weiterhin notwendig und erhalten eine hohe Bedeutung zur Sicherstellung der Stromversorgung. Ein grosser Teil der notwendigen regelfähigen Stromerzeugung wird durch Wasserkraft gedeckt. Allerdings sind vor allem im Winterhalbjahr (geringe Photovoltaik-Produktion) grosse Mengen an regelbarer Stromerzeugung notwendig. Speicherkraftwerke sind im Winterhalbjahr durch ihre Speicherkapazität und den reduzierten Zulauf limitiert. Ab 2029 ist deshalb auch der Einsatz von GuD, bzw. sind Importe im Winter notwendig.
- Der verstärkte Zubau von PV-Strom bewirkt bereits ab 2023 sommerliche Erzeugungsüberschüsse, die mit den bestehenden Kapazitäten von Pumpspeicherkraftwerken nicht vollständig im Inland gespeichert werden können. Es fehlen vor allem Saisonalspeicherkapazitäten (Verlagerung vom Sommer in den Winter).
- Die Exportmöglichkeiten von Produktionsüberschüssen aus Photovoltaik sind beschränkt, da auch das umliegende Ausland im Sommer Produktionsüberschüsse (aus Photovoltaik) aufweist.
- PV Anlagen können nicht als Block innerhalb eines Jahres zugebaut werden. Um die Erzeugung eines KKW durch PV-Anlagen zu ersetzen braucht es (rechnerisch) die zehnfache Leistung eines KKW. Der Aufbau dauert einige Jahre. In den Jahren vor der Abschaltung der KKW werden deshalb Überkapazitäten vorhanden sein.
- Der verstärkte Zubau von Photovoltaik bewirkt, dass der Netzausbau früher und schneller vorangetrieben werden muss. Auf die nicht-diskontierten Gesamtkosten des Netzausbaus hat der verstärkte Zubau keine oder höchstens geringfügige Auswirkungen.

Anhang 2: Vertiefung einzelner Abschnitte der Zusammenfassung

1. Endenergienachfrage und CO₂-Emissionen (ergänzend zu Kapitel 4 Zusammenfassung)

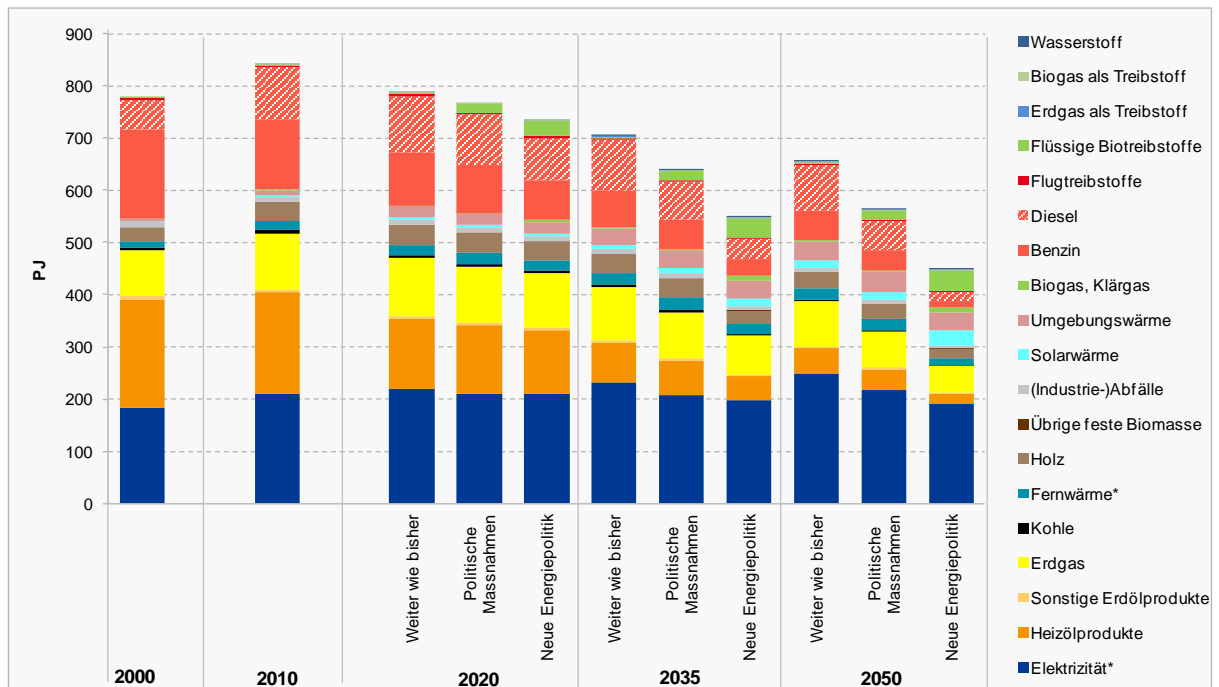
In der Zusammenfassung Kapitel 4 ist der Energieverbrauch insgesamt und nach Sektoren abgebildet. In den folgenden Abschnitten wird der Endenergieverbrauch gegliedert nach

- Energieträgern
- Verwendungszwecken
- Erneuerbare Energieträger (Wärme und Mobilität)
- Fossile Energieträger

1.1 Endenergienachfrage nach Energieträgern

In allen drei Szenarien ist in der Endenergienachfrage im Zeitablauf eine Verlagerung von fossilen Brennstoffen zu erneuerbaren Energieträgern und eine Verlagerung von fossilen Treibstoffen zu Elektrizität festzustellen (siehe Grafik A2-1). Allerdings sind diese Trends Szenarien-abhängig unterschiedlich ausgeprägt. Im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ bewirkt das Gebäudeprogramm einen Anstieg der energetischen Sanierungen und eine Substitution von fossilen Energieträgern. Im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“ ergibt sich bis 2050 ein grösserer Verbrauchsrückgang dieser Energieträger. Die im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ vorgegebenen Massnahmen im Verkehr haben einen Rückgang des Verbrauches fossiler Treibstoffe zur Folge. Diese Entwicklung wird vor allem von den Verbrauchsvorschriften bewirkt, welche zu effizienteren Motoren führen. Zudem führt auch die Beschleunigung der Durchdringung von Elektrofahrzeugen zu einem Verbrauchsrückgang von fossilen Treibstoffen. Die Zielvorgabe des Szenarios „Neue Energiepolitik“ bewirkt für alle fossilen Energieträger einen weitaus stärkeren Rückgang als in der Politikvariante „Weiter wie bisher“. Zudem ist trotz der „Elektrifizierung“ des Verkehrs im Szenario „Neue Energiepolitik“ eine Stabilisierung der gesamten Elektrizitätsnachfrage möglich.

Grafik A2-1: Endenergienachfrage** nach Energieträgern, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ



* aus Eigenerzeugung und Fremdbezug

** ohne internationaler Flugverkehr, ohne statistische Differenz

Quelle: Prognos, 2012

1.2 Endenergienachfrage nach Verwendungszwecken

Die Energienachfrage nach Verwendungszwecken stellt die Entwicklung der Nachfrage nach wichtigen Anwendungen dar. Der Vergleich der absoluten Werte im Jahre 2050 zeigt die „Eingriffstiefe“, welche sich einerseits aufgrund der vorgeschlagenen Massnahmen des Bundesrates im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ ergibt, und andererseits notwendig ist, um die Ziele des Zielszenarios „Neue Energiepolitik“ zu erreichen (siehe Tabelle A2-1).

Tabelle A2-1: Endenergienachfrage* nach Verwendungszweck, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ

Verwendungszweck	2000	2010	2020			2035			2050		
			WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP
Raumwärme	271	302	261	256	250	215	193	165	175	141	108
Warmwasser	45	46	48	48	45	48	46	42	48	46	39
Prozesswärme	92	99	96	94	89	85	80	68	76	70	56
Beleuchtung	25	27	24	23	21	23	20	15	23	18	11
Klima, Lüftung & Haustechnik	19	22	28	26	24	37	33	27	51	44	38
I&K, Unterhaltungsmedien	8	10	11	10	10	12	10	9	13	11	8
Antriebe, Prozesse	67	74	75	71	74	76	67	64	80	68	59
Mobilität Inland	239	250	230	224	207	194	174	143	177	150	116
sonstige	11	13	15	14	14	16	16	15	17	17	16
Total Endenergieverbrauch	777	841	788	767	734	706	639	549	658	565	451

WWB: „Weiter wie bisher“

POM: „Massnahmen Bundesrat“

NEP: „Neue Energiepolitik“

* ohne internationaler Flugverkehr, ohne statistische Differenz

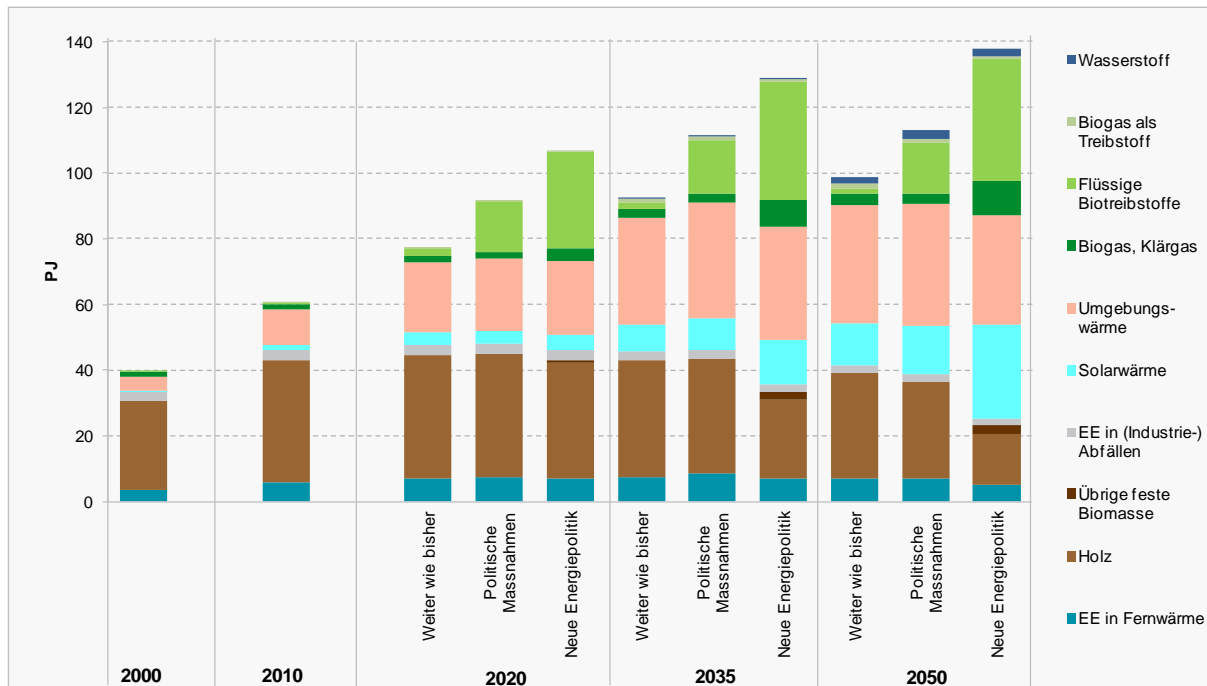
Quelle: Prognos, 2012

Im Vergleich der Nachfrageentwicklung von 2000 bis 2050 ist in den Verwendungszwecken des Gebäudebereichs, aber auch in den vor allem in der Industrie und im Dienstleistungssektor wichtigen Anwendungen (Prozesswärme) ein Rückgang des Verbrauches feststellbar. Ebenfalls weit weniger Energie verbraucht der Verkehrssektor (Verwendungszweck „Mobilität Inland“) dank den Verbrauchsvorschriften, welche eine Substitution vom Benzin zu Diesel bewirken, und der Verwendung von Elektrizität im privaten Verkehr, welcher wegen seinem guten Wirkungsgrad den Verbrauch senkt. Hingegen bewirkt die Bevölkerungsentwicklung die Zunahme der Produktionsmengen in der Wirtschaft, aber auch die Klimaerwärmung eine Zunahme der Energienachfrage für „Klima, Lüftung, Haustechnik“ in allen drei Szenarien.

1.3 Endenergienachfrage nach erneuerbaren Energieträgern, Bereich Wärme und Mobilität

Die Endenergienachfrage nach erneuerbaren Energieträgern (Wärme und Mobilität; der Einsatz der Erneuerbaren Energieträger im Umwandlungs- und Kraftwerkssektor wird mit dem Kraftwerkspark / Elektrizitätsproduktion abgehandelt) steigt in den drei Politikvarianten verglichen mit den Basisjahren 2000 und 2010 kräftig an (siehe Grafik A2-2).

Grafik A2-2: Endenergienachfrage* erneuerbare Energieträger, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ



Quelle: Prognos, 2012

* ohne internationaler Flugverkehr, ohne statistische Differenz

Den grössten Zuwachs weisen die Umgebungswärme und Solarwärme auf, welche im Jahre 2050 in den drei Szenarien einen Anteil von knapp 50 % der nachgefragten erneuerbaren Energiemenge haben (siehe Tabelle A2-2).

Tabelle A2-2: Endenergienachfrage* erneuerbare Energieträger, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ

Energieträger	2000	2010	2020			2035			2050		
			WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP
EE in Fernwärme	3.5	5.8	6.8	7.4	6.9	7.3	8.5	6.8	6.9	7.1	5.0
Holz	27.1	37.4	37.8	37.6	35.3	35.8	34.8	24.2	32.2	29.2	15.6
Übrige feste Biomasse	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	2.2	0.0	0.0	2.7
EE in (Industrie-)Abfällen	2.6	3.0	3.1	3.0	2.9	2.8	2.8	2.3	2.4	2.4	1.8
Solarwärme	0.6	1.4	3.9	4.0	4.7	8.2	9.8	13.5	12.8	14.8	28.5
Umgebungswärme	4.3	10.8	21.4	21.7	22.5	32.5	35.3	34.4	36.1	37.2	33.5
Biogas, Klärgas	1.4	1.5	2.0	2.0	3.8	2.7	2.6	8.4	3.3	3.1	10.3
Flüssige Biotreibstoffe	0.1	0.4	2.2	15.7	29.3	1.7	16.2	36.0	1.4	15.7	37.2
Biogas als Treibstoff	0.0	0.1	0.4	0.4	0.3	1.4	1.1	0.8	1.9	1.2	0.9
Wasserstoff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	1.8	2.5	2.3
Insgesamt	40	60	78	92	107	92	111	129	99	113	138

WWB: „Weiter wie bisher“

POM: „Massnahmen Bundesrat“

NEP: „Neue Energiepolitik“

Quelle: Prognos, 2012

* ohne internationaler Flugverkehr, ohne statistische Differenz

Die Verwendung von Umgebungswärme (Wärmepumpen) wird in 2050 der wichtigste Energieträger für die Wärmeproduktion. Im Szenario „Neue Energiepolitik“ geht die Nachfrage nach Holz und Fern-

wärme verglichen mit dem Basisjahr 2000 zurück, da die getätigten energetischen Renovationen im Gebäudepark die Nachfrage nach Energie zu Heizzwecken insgesamt noch stärker sinken lassen.

Im Szenario „Neue Energiepolitik“ wird fossiler Treibstoff vor allem für den motorisierten Güterverkehr verstärkt durch Biodiesel und anderem biogenem Treibstoff (der zweiten und dritten Generation) ersetzt, was mithilft, die Nachfrage nach fossilem Treibstoff zu senken. Hierbei werden die Grenzen der Verfügbarkeit nachhaltiger biogener Energieträger beachtet.

1.4 Endenergienachfrage nach fossilen Energieträgern

Die Endenergienachfrage der fossilen Energieträger geht in den drei Politikvarianten verglichen mit den Basisjahren 2000 und 2010 deutlich zurück (Tabelle A2-3). Im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ liegt der Rückgang bis 2050 verglichen mit dem Jahr 2010 bei rund 60%. Auch im Szenario „Weiter wie bisher“ liegt die Nachfrage in 2050 rund 45% unter dem Wert von 2010. Im Szenario „Neue Energiepolitik“ sinkt die Nachfrage von 2010 bis 2050 um knapp 80 %. Die Nachfrage nach Brennstoffen (Heizöl, Gas) aber auch nach Treibstoffen (Benzin, Diesel) geht stark zurück. Die Massnahmen und Instrumente wirken sich im Bereich Gebäude aus. Zudem wirken die CO₂-Vorschriften, aber auch die Elektrifizierung des Personenverkehrs auf die Nachfrage.

Tabelle A2-3: Endenergienachfrage* nach fossilen Brenn- und Treibstoffen, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ

Energieträger	2000	2010	2020			2035			2050		
			WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP
Heizölprodukte	212.8	198.2	137.8	135.4	126.8	81.2	71.0	49.5	53.0	41.6	22.5
Erdgas	87.0	108.2	111.3	107.4	104.0	103.2	88.2	76.0	87.7	70.0	50.9
Kohle	5.8	6.4	5.9	5.9	4.9	4.2	4.2	1.7	2.9	2.9	0.0
Fernwärme	9.7	11.4	13.4	14.6	13.5	14.2	16.6	13.4	13.5	13.9	9.9
Industrieabfälle	7.8	7.1	7.4	7.3	7.0	6.6	6.6	5.6	5.8	5.7	4.3
Benzin	169.3	135.2	101.6	92.4	77.0	70.5	55.5	31.7	57.0	38.7	12.8
Diesel	55.9	98.8	107.5	96.8	79.9	96.8	72.9	39.9	86.0	56.0	17.3
Flugtreibstoffe nur Inland	4.3	3.4	3.4	3.4	3.4	3.3	3.3	3.2	3.2	3.2	3.0
Erdgas als Treibstoffe	0.0	0.2	0.5	0.4	0.5	1.5	1.1	1.1	1.7	1.1	1.0
Insgesamt	552.6	568.9	489.0	463.7	417.0	381.6	319.5	221.9	310.9	233.2	121.8

WWB: „Weiter wie bisher“

POM: „Massnahmen Bundesrat“

NEP: „Neue Energiepolitik“

* ohne internationaler Flugverkehr, ohne statistische Differenz

Quelle: Prognos, 2012

2. Elektrizitätsnachfrage (ergänzend zu Kapitel 5 Zusammenfassung)

In der Zusammenfassung Kapitel 5 ist der Elektrizitätsverbrauch insgesamt und nach Sektoren abgebildet. Als Ergänzung ist der Elektrizitätsverbrauch nach Verwendungszwecken aufgeführt

2.1 Elektrizitätsnachfrage nach Verwendungszwecken

Die Elektrizitätsnachfrage nach Verwendungszwecken zeigt die unterschiedlichen Nachfrageentwicklungen wichtiger Anwendungen auf. Der Vergleich der absoluten Werte im Jahre 2050 (siehe Tabelle A2-4) weist - mit Ausnahme der Nachfrage des Verkehrs nach Elektrizität, die Ergebnis zweier gegenläufiger instrumenteller Einflussfaktoren ist - auf die unterschiedlichen „Eingriffstiefen“, ausgelöst vom vorgegebenen Instrumentenmix in den Szenarien „Massnahmen Bundesrat“ und „Weiter wie bisher“, bzw. den Zielvorgaben im Szenario „Neue Energiepolitik“ (siehe Zusammenfassung Tabelle 1).

Im Verkehrssektor bewirkt die Ausrichtung zu einer „Elektrifizierung des Strassenverkehrs“ ein Anwachsen der Nachfrage (auf Kosten fossiler Treibstoffe). Allerdings unterscheiden sich die Durchdringungsraten, abhängig von den vorgegebenen Instrumenten, Massnahmen, bzw. Zielen. Für Verwendungszwecke, welche von der Bevölkerungsentwicklung abhängen, wie „Kochen“ und „I&K, Unterhaltungsmedien“ vermag die Energieeffizienz den Bevölkerungseffekt in den Szenarien „Massnahmen Bundesrat“ und „Weiter wie bisher“ zu kompensieren. Der Verwendungszweck „Klima, Lüftung, Haustechnik“ weist in allen Szenarien einen Zuwachs aus, was neben der Bevölkerungsentwicklung auch mit der Klimaerwärmung sowie steigenden Komfortansprüchen zusammenhängt. Für Verwendungszwecke, welche vor allem den Sektor Industrie betreffen wie „Prozesswärme“ oder „Antriebe, Prozesse“, bewirkt die exogen vorgegebene Branchenentwicklung, dass in den Szenarien „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ ein Rückgang des Elektrizitätsverbrauches zu verzeichnen ist. Die vorgegebene Branchenstruktur ergibt im Szenario „Weiter wie bisher“ einen Rückgang des Elektrizitätsverbrauchs für „Prozesswärme“ und einen leichten Anstieg für „Antriebe, Prozesse“. Obschon die Verwendung von Umgebungswärme in allen Szenarien zunimmt (siehe Abschnitt 5.5), sinkt der Verbrauch von Elektrizität für „Raumwärme“. Der Ersatz von Widerstandsheizungen, aber auch der insgesamt geringere Wärmebedarf wegen den energetisch viel effizienteren Gebäuden wirkt sich auf die Nachfrage für diesen Verwendungszweck aus.

Tabelle A2-4: Elektrizitätsnachfrage nach Verwendungszweck, Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, in PJ

Verwendungszweck	2000	2010	2020			2035			2050		
			WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP	WWB	POM	NEP
Raumwärme	16.3	21.6	20.2	19.6	19.9	17.3	15.3	14.1	14.3	11.5	9.3
Warmwasser	8.8	9.5	9.4	9.1	9.6	8.8	5.6	8.0	8.1	4.6	3.5
Kochherde	4.8	5.1	5.4	5.4	5.3	5.5	5.3	5.3	5.4	4.9	4.8
Prozesswärme	21.1	23.3	23.2	21.2	20.2	22.0	18.0	16.7	21.1	16.2	15.0
Beleuchtung	24.9	26.8	24.4	22.6	20.6	23.3	19.5	14.7	22.7	18.4	11.5
Klima, Lüftung & Haustechnik	19.2	22.1	27.6	26.0	23.7	35.5	30.6	23.3	46.6	39.1	25.0
I&K, Unterhaltungsmedien	8.4	10.3	10.7	10.3	9.9	11.7	10.4	9.2	12.6	10.7	8.4
Antriebe, Prozesse	65.6	71.7	75.1	70.9	73.4	75.8	66.7	64.2	79.5	67.9	58.8
Mobilität Inland	9.6	11.5	13.9	14.4	16.5	19.1	23.9	30.1	23.8	31.6	41.0
sonstige	6.5	9.7	11.5	11.5	11.3	13.1	13.1	12.7	14.3	14.3	13.5
Total Elektrizitätsverbrauch	185.1	211.5	221.3	211.1	210.4	232.0	208.5	198.2	248.5	219.1	190.9
Total in TWh	51.4	58.8	61.5	58.6	58.5	64.4	57.9	55.1	69.0	60.9	53.0

WWB: „Weiter wie bisher“
POM: „Massnahmen Bundesrat“
NEP: „Neue Energiepolitik“

Quelle: Prognos, 2012

3. Direkte Kosten (ergänzend zu Kapitel 9 Zusammenfassung)

3.1 Mehrinvestitionen Sektor Haushalte „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ verglichen mit „Weiter wie bisher“

Die Differenzkosten werden im Sektor Haushalte nach den Bereichen Gebäudehülle Sanierung, Gebäudehülle Neubau, Anlagekosten Raumwärme, Anlagekosten Warmwasser, mechanische Lüftung, Klimatisierung, Elektrogeräte, Beleuchtung und Kochen unterschieden.

Gebäudehülle Sanierung und Neubau

Die drei Szenarien unterscheiden sich in Bezug auf die energetisch sanierte Wohnfläche und auf die Energieeffizienz. Die höheren energetischen Standards führen je m² sanierter Energiebezugsfläche in den Szenarien „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ zu höheren Kosten als im Referenzszenario „Weiter wie bisher“. Es wird von Lebensdauern von rund 35 Jahren bei Gebäudehüllen, bzw. 20 Jahren bei Geräten ausgegangen.

Das Szenario „Massnahmen Bundesrat“ führt zu einer Verschiebung von nicht-energetischen Pinselsanierungen zu energetischen Sanierungen. Die Gesamtsanierungsrate bleibt im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“ unverändert. Im Gegensatz dazu wird im Szenario „Neue Energiepolitik“ die Sanierungsrate im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“ erhöht. Zudem führen die deutlich höheren Effizianz Anforderungen des Szenarios „Neue Energiepolitik“ zu einer Erhöhung der energiebedingten Sanierungskosten.

Anlagen Raumwärme und Warmwasser

Die Differenzkosten werden nach Heizsystemen und Gebäudetypen gegliedert. Sie erhöhen sich im Szenario „Massnahmen Bundesrat“, weil eine grössere Anzahl Wohnungen im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“ zusätzlich mit effizienteren Raumwärme- und Warmwassersystemen ausgerüstet wird, bzw. auf erneuerbare Energieträger umgestellt wird. Im Szenario „Neue Energiepolitik“ werden die Durchdringungsraten im Vergleich zum Szenario „Massnahmen Bundesrat“ nochmals erhöht, was zu höheren Differenzkosten führt.

Anlagen Haustechnik (Lüftung und Klimatisierung)

Die Anteile der Wohnflächen, die mechanisch belüftet werden, unterscheiden sich in den drei Szenarien. Für die Kosten je m² mechanisch belüfteter Energiebezugsflächen wird eine Kostendegression von 0,5% pro Jahr bis 2050 angenommen. In die Differenzkosten fliessen nur 50% der Differenzkosten, da die Anlagen nicht nur energetische Verbesserungen, sondern auch Komfortverbesserungen mit sich bringen, weshalb die Investitionen nicht nur aus energetischen Gründen gemacht werden.

Für Elektrogeräte, Beleuchtung, Kochen und übrige Haustechnik werden die Differenzkosten indirekt berechnet. In der Regel sind energieeffiziente Geräte teurer als weniger effiziente Geräte. Sie weisen aber tiefere Energiekosten auf. Es wird angenommen, dass die Mehrkosten den Einsparungen an Energiekosten entsprechen. Die ausgewiesenen Differenzkosten ergeben sich aus der Reduktion des Stromverbrauches und dem Strompreis.

Mehrinvestitionen Haushalte im Überblick

Im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“ Variante C sind die kumulierten Kosten – gemessen als Differenzkosten – des Szenarios „Massnahmen Bundesrat“ rund 27 Mrd. höher (siehe Tabelle A2-5 Differenzkosten kumuliert in 2050). Rund 2/3 der zusätzlich anfallenden Kosten fallen auf den Bereich Raumwärme, aber auch 80% der erzielten Einsparungen fallen auf diesen Bereich. In der Tabelle A2-5 sind die saldierten Grössen aufgeführt.

Rund die Hälfte der Mehrkosten fallen auf den Zeitraum 2010-2040, damit können rund 80% der Einsparungen erzielt werden. In den Jahren 2040-2050 fallen ebenfalls 50% der Kosten an, aber dies bewirken nur noch 20% der Einsparungen. Die zunehmenden Grenzkosten und abnehmenden Grenznutzen, aber auch die annuitätische Darstellung der getätigten Investitionen sind die wichtigsten Gründe für diese Wirkungen.

Die Differenzkosten zwischen dem Szenario „Weiter wie bisher“ Variante C und „Neue Energiepolitik“ Variante C&E liegen mit rund 65 Mrd. Franken deutlich über den Differenzkosten des Szenarios „Massnahmen Bundesrat“. Die im Vergleich zum Szenario „Massnahmen Bundesrat“ verstärkten Massnahmen wirken sich auf die Kosten aus. Wiederum bewirken die zunehmenden Grenzkosten und abnehmenden Grenznutzen, aber auch die annuitätische Darstellung in den Jahren 2010 – 2040 rund 50% der gesamten Mehrkosten und rund 85% der Energieeinsparungen. Für die Erreichung der für das Szenario „Neue Energiepolitik“ vorgegebenen Ziele sind trotzdem Investitionen in der dargestellten Grössenordnung notwendig.

Tabelle A2-5: Sektor Haushalte „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, verglichen mit „Weiter wie bisher“

Differenzkosten in Mio. Fr.	2010	2020		2035		2050	
		POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP
Gebäudesanierung	0	64	139	340	1035	644	2021
Gebäude Neubau	0	26	32	114	152	183	223
Anlagekosten Raumwärme	0	25	55	133	277	172	471
Anlagekosten Warmwasser	0	8	21	113	152	117	237
Klima, Lüftung & Haustechnik	0	12	31	94	232	90	406
Elektrogeräte Beleuchtung Kochen	0	10	37	143	283	238	455
Differenzkosten insgesamt	0	145	317	938	2133	1445	3812
Differenzkosten 2010-2050 kumuliert	0	365	827	8590	19485	27167	65052

POM: „Massnahmen Bundesrat“
 NEP: „Neue Energiepolitik“

Quelle: Prognos, 2012

3.2 Mehrinvestitionen Sektor Industrie und Dienstleistungen „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, verglichen mit „Weiter wie bisher“

In den Sektoren Industrie und Dienstleistungen erfolgen die Investitionen nach Wirtschaftlichkeitskriterien. Zum Einsatz kommen die jeweils kosteneffizientesten Massnahmen. Während im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ die Höhe der eingesetzten Fördertöpfe die Investitionshöhe beeinflusst, werden im Szenario „Neue Energiepolitik“ zur Erreichung der Ziele des Szenarios heute bereits bekannte Querschnittstechnologien konsequent umgesetzt.

Die Wirkung der Fördermassnahmen und Vorschriften ist im Szenario „Massnahmen Bundesrat“ nicht konstant, sondern es werden - wie im Sektor Haushalt - in den ersten Jahren Massnahmen mit hoher Wirkung umgesetzt. Diese sogenannten „low hanging fruits“ werden bis 2035 „geerntet“ sein, sodass für die weiteren Massnahmen längere Amortisationszeiten und damit höhere Förderquoten notwendig werden. Insgesamt sind in den Berechnungen Mitnahmeeffekte von 30% einberechnet. Für die Sektoren Industrie und Dienstleistungen werden ca. 20% der Mittel des Gebäudeprogramms und für das Instrument „wettbewerbliche Ausschreibungen“ rund 73 Mio.Fr. pro Jahr mehr eingesetzt als im Szenario „Weiter wie bisher“. Im Rahmen des Gebäudeprogrammes wird von einer Lebensdauer von 20 Jahren für Gebäudehüllen ausgegangen und von 10 Jahren bei Haustechnik und Produktionsanlagen-technik. Diese Lebensdauern sind deutlich kürzer als diejenigen im Haushaltssektor.

Für die Erreichung der Ziele im Szenario „Neue Energiepolitik“ sind die Kosten der zu erreichenden Ziele auf die gleichen Instrumente umgelegt worden wie im Szenario „Massnahmen Bundesrat“. Es resultiert insgesamt eine Verdoppelung der Mehrinvestitionen (siehe Tabelle 25). Es gilt aber generell zu beachten, dass das Szenario „Neue Energiepolitik“ ein Zielszenario ist und die Instrumente der Zielerreichung nicht Gegenstand der Untersuchung sind. Die Instrumentenwahl findet im Rahmen eines politischen Prozesses statt. Für die Erreichung des Zieles muss im Vergleich zum Szenario „Massnahmen Bundesrat“ vor allem in die Gebäude, aber auch in die Prozesse verstärkt investiert werden, was sich in Tabelle A2-6 in einer Verdopplung der Investitionen in die Gebäude, aber auch in wettbewerbliche Ausschreibungen ausdrückt.

Tabelle A2-6: Sektor Industrie und Dienstleistungen Mehrinvestitionen „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, verglichen mit „Weiter wie bisher“

Differenzkosten in Mio. Fr.	2010	2020		2035		2050		Summe 2010-2050	
		POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP
Gebäudeprogramm	0	165	298	410	1009	471	1143	12415	28835
Neubau	0	37	38	103	115	109	121	2903	3225
SIA-Normen / Gebäudebetrieb	0	22	22	53	64	4	70	1199	1826
wettb. Ausschreibungen / Haus- und Produktionstechnik	0	349	620	465	974	465	785	14798	28363
Differenzkosten insgesamt	0	572	978	1031	2162	1048	2118	31315	62250

POM: „Massnahmen Bundesrat“
NEP: „Neue Energiepolitik“

Quelle: Prognos, 2012

3.3 Mehrinvestitionen Sektor Verkehr „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ verglichen mit „Weiter wie bisher“

Analog zu den übrigen Sektoren ergeben sich im Sektor Verkehr Mehrinvestitionen im Vergleich zum Szenario „Weiter wie bisher“. Treiber des Kostenanstiegs sind eine Erhöhung der Effizienz (Anstieg der Produktionskosten) und die Umstellung des motorisierten Individualverkehrs auf Elektromobilität („höhere Fahrzeugpreise, Investitionen in die Ladeinfrastruktur).

Für die Szenarien „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“ werden im Bereiche Personenwagen die gleichen Effizienzmassnahmen unterstellt, was sich in identischen Mehrinvestitionen (siehe Tabelle A2-7) und auch in gleichen Mehrkosten zum Aufbau der Ladeinfrastruktur ausdrückt. Hingegen unterscheiden sich die beiden Szenarien in der Durchdringungstiefe der Elektrifizierung im Lieferverkehr und im Schienenverkehr, was sich in unterschiedlichen Mehrinvestitionen widerspiegelt. Da die Infrastrukturen aufgrund der Nachfrageentwicklung vor 2035 vorhanden sein müssen, sind die Mehrinvestitionen bis 2035 höher als zwischen 2035 und 2050.

Tabelle A2-7: Sektor Verkehr Mehrinvestitionen „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“, verglichen mit „Weiter wie bisher“

Differenzkosten in Mio. Fr.	2010	2020		2035		2050	
		POM	NEP	POM	NEP	POM	NEP
Mehrkosten Effizienz	0	204	204	333	333	277	277
Mehrkosten E-Fahrzeuge	0	228	259	459	519	150	166
Mehrkosten Ladeinfrastruktur	0	40	40	121	121	41	41
Total Mehrkosten Strasse	0	472	502	913	972	468	481
Mehrkosten Bahninfrastruktur	0	0	167	0	167	0	167
Differenzkosten insgesamt	0	472	669	913	1139	468	648

POM: „Massnahmen Bundesrat“
NEP: „Neue Energiepolitik“

Quelle: Prognos, 2012

Anhang 3: Modellgrundlagen und ihre Schnittstellen

1. Vorbemerkungen

In den folgenden Abschnitten werden einige Informationen zu den vom BFE im Rahmen der Energiestrategie verwendeten Modellgrundlagen vorgestellt. Insbesondere werden die Modellmechanismen, aber auch die notwendigen exogenen Vorgaben dargestellt. Schwerpunkt bilden hier die Energiesystemmodelle. Sie liefern die Inputs für die Analysen der übrigen Modelle.

Die hier verwendeten Modelle werden für Fragen des künftigen Energiesystems seit rund 20 Jahren verwendet und publiziert. Neben Energiesystemmodellen, welche bottom-up die Auswirkungen von politischen Massnahmen und Instrumenten oder von Zielen aufzeigen, werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit allgemeinen Gleichgewichtsmodellen geprüft. Erstmals sind auch Netzfragen, basierend auf den Resultaten der Energieperspektiven, untersucht worden.

Eine gewisse Redundanz mit der Zusammenfassung der Resultate ist nicht vermeidbar oder sogar gewollt.

2. Historische Einordnung

Energieperspektiven werden in der Schweiz seit über 20 Jahren mit Energiesystemmodellen und allgemeinen Gleichgewichtsmodellen durchgeführt. Die Modelle werden - abhängig von der jeweiligen Fragestellung - aktualisiert, neu aufgebaut oder erweitert. Die Energiesystemmodelle mit ihrem Bottom-up-Instrumentarium wurden entwickelt, um der Komplexität des Energiesystems mit seinen gegenläufigen Entwicklungen Rechnung zu tragen. Der Aufbau dieser Modellinstrumentarien wurde vor rund 25 Jahren begonnen, weil die bis zu diesem Zeitpunkt gängigen Methoden der top-down-Fortschreibung (klassischerweise von Grössen wie Energieproduktivität u.ä.) zu widersprüchlichen und unplausiblen Ergebnissen führten. Die damaligen Modelle überschätzen den Kraftwerksbedarf systematisch und es resultierte ein überproportionales Wachstum des Anteils der Energiekosten am BIP. In den Analysen fehlten vor allem Instrumente, welche die Konsumsättigungseffekte bei Fahrzeugen und Elektrogeräten oder Technologieentwicklungen und Skaleneffekte einbezogen.

Neben Energiesystemmodellierungen sind in der Schweiz bereits Mitte der 90er Jahre mit allgemeinen Gleichgewichtsmodellen volkswirtschaftliche Auswirkungen der Energieszenarien ausgearbeitet worden. Die Resultate der Energiesystemmodelle dienen als Input für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen. Dafür kommt ein berechenbares Gleichgewichtsmodell (SWISSGEM_E) zur Anwendung, welches 62 Branchen und 15 Haushaltstypen, aber auch das schweizerische Steuersystem detailliert abbildet.

Die seit der Erdölkrise Mitte der 70er Jahre regelmässig mit unterschiedlichen Analyseinstrumenten durchgeführten Energieprognosen und Szenarienarbeiten fokussieren auf die Energieversorgung. Gesucht werden Antworten zu Fragenkomplexen wie: Wie viel Energie (welcher „Sorte“ und in welcher Qualität) wird benötigt, um die für die wirtschaftliche Produktion und Konsum bestehenden Bedürfnisse zu erfüllen? Welche Voraussetzungen sind notwendig, um die entsprechende Versorgung zu gewährleisten? Dieses Zielsystem erweiterte sich im Laufe der Zeit um Wirtschaftlichkeits- sowie Umweltschutz- und Nachhaltigkeitsfragen. Entsprechend entwickeln sich die Szenariofragestellungen und -methoden weiter.

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 sind auch die Auswirkungen auf die Stromnetze im Detail angeschaut worden. Auch für diese Analysen bildeten die Ergebnisse der Energiesystemmodelle die Grundlagen der Analysen.

3. Begriffliches: Szenarien und Modelle

Was sind Energieszenarien?

Mit Energieszenarien wird der technisch-wirtschaftliche Verbrauchs- und Angebotsteil des komplex verknüpften Energiesystems abgebildet und in seinen möglichen Entwicklungspfaden untersucht. Im Vordergrund steht die Frage, wie sich Energiepreise, Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum (Rahmenentwicklungen) sowie Vorschriften, preisliche Instrumente und Förderinstrumente (Politikinstrumente) auf das Energiesystem auswirken. Rahmenentwicklungen können allerdings anders als erwartet verlaufen, der Einsatz und die Wirkung der Politikinstrumente sind unsicher. Szenarien kann man nicht für die Umsetzung auswählen, entscheiden kann man sich jedoch für Politikinstrumente und entsprechende Rechtsgrundlagen. Die Politikinstrumente sind kein Menü, aus welchem das Passende ausgewählt werden kann. Erforderlich ist ein konsistentes Paket von Instrumenten mit der erwünschten Gesamtwirkung. Zwischen den untersuchten Instrumenten, der Rahmenentwicklung und den Szenarien-Ergebnissen besteht ein enger Zusammenhang, der bei Entscheiden über neue Ziele und Rechtsgrundlagen berücksichtigt werden sollte.

Die hier angewendete Szenarienmethode stellt auf der Basis von quantitativen Modellen sicher, dass die vielen Elemente, welche die Energiezukunft bestimmen, miteinander verknüpft sind und die Auswirkungen von Veränderungen der Energiepolitik oder der Rahmenentwicklung sichtbar werden. Rückwirkungen, wie jene der Energiepreise auf Energieangebot und -nachfrage, werden berücksichtigt. Die Ergebnisse sind demzufolge **keine Prognosen**, sondern **Wenn-Dann-Analysen**.

Was machen die verwendeten Energieszenarien nicht?

In den Energieperspektiven werden Katastrophenszenarien oder technische Revolutionen bewusst ausgeklammert. Eine auf die schlimmstmögliche Wende oder den überraschenden Technologiesprung ausgerichtete Politik wäre teuer bzw. unvorsichtig.

Aktuelle Energiepreise, die Konjunkturlage, Meldungen über energietechnische Pioniertaten oder Pannen beeinflussen unweigerlich die Einschätzung der Energiezukunft, sind aber nicht auf langfristige Perspektiven übertragbar.

Ordnungspolitische und gesellschaftliche Fragen, wie die Aufgabenteilung zwischen Staat und Wirtschaft oder die Sozialverträglichkeit der Energietechniken können mit Modellrechnungen nicht beantwortet werden. Hier muss der gesellschaftliche Aushandlungsprozess einsetzen.

Was sind Energiesystemmodelle?

Ausgegangen wird von den wirtschaftlichen und demografischen Rahmenentwicklungen. Diese bestimmen die für die Energienachfrage zentralen „Mengenkomponenten“, wie Arbeitsplätze, Produktionsmengen oder Verkehrsleistungen. Zur Abbildung von Energienachfrage und -angebot werden darauf aufbauend die verschiedenen Energieanwendungen möglichst detailliert in Zahlenwerken erfasst. Bauten, Geräte, Fahrzeuge und Anlagen werden in den Sektorenmodellen (Haushalte, Dienstleistungen und Landwirtschaft, Industrie, Verkehr) in ihrer Generationenfolge und mit ihren spezifischen Energieverbräuchen dargestellt. Mit der Generationenfolge wird berücksichtigt, dass die Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien zahlreichen Einschränkungen unterliegen (Sanierungs- und Ersatzzyklen, technische Grenzen in dicht bebauten Gebieten, usw.). Die spezifischen Energieverbräuche (wie Liter Benzin pro 100 km) verändern sich unter dem Einfluss der technischen Fortschritte (autonome Entwicklung), des Investitions- und Verbrauchsverhaltens sowie der politischen Instrumente. Ebenso wird das Energieangebot, insbesondere Alterung, Erneuerung und Ausbau des Kraftwerkparks, untersucht. Mit dem Kraftwerkparkmodell wird die Sicherstellung der inländischen Stromversorgung untersucht (nicht jedoch die Positionierung der schweizerischen Stromwirtschaft im europäischen Binnenmarkt).

4. Modellbeschreibungen

In den folgenden Ausführungen wird auf die Kapitel des Berichtes **Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050**, Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 – 2050 hingewiesen. Diese Hinweise erleichtern eine Vertiefung der Ausführungen.

4.1 Energiesystemmodelle

4.1.1 Grundsätzliche Ausgestaltung der Energiesystemmodelle

Aufgrund der engen Zeitvorgaben bauen die Energieperspektiven 2050 grundsätzlich auf den Energieperspektiven 2035 auf. Sie wurden vollständig neu berechnet mit neuen Rahmendaten sowie den vorliegenden jährlichen Ex-Post-Analysen und unter Verwendung weiterer Analysen (z.B. Instrumentenevaluationen sowie aktualisierten Informationen über Stand, Einsatz und Kosten der Verbrauchs- und Erzeugungstechnologien). Zudem kamen seit 2007 aktualisierte Modellinstrumentarien zur Anwendung. Die Grundlagen der Funktionsweisen sind jedoch im Wesentlichen die gleichen, mit Ausnahme des Modells für den Dienstleistungssektor (vgl. Kap. 2 Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050).

Die Energiesystemmodelle umfassen Analysen des schweizerischen Energiesystems. Zum Einsatz kommen quantitative Modelle, welche in Form von Szenarien die verschiedenen Elemente des Energiesystems sowie ihre gegenseitige Beeinflussung darstellen. Sie bilden eine mögliche Wirklichkeit ab und zeigen, wie sich Energiepreise, Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum (exogen vorgegebene Rahmenentwicklungen) sowie Vorschriften, preisliche Instrumente und Förderinstrumente (Politikinstrumente) oder vorgegebene Ziele auf das Energiesystem auswirken.

Szenarien untersuchen Entwicklungsmöglichkeiten unter verschiedenen exogen vorgegebenen Voraussetzungen und vergleichen mehrerer solcher unterschiedlicher Möglichkeiten, mit denen „der Garten der sich verzweigenden Pfade“ (J. L. Borges) exploriert wird. Es handelt sich hierbei explizit NICHT um Prognosen der möglichst wahrscheinlichen Entwicklungen. Vielmehr werden die Auswirkungen möglicher künftiger Rahmenbedingungen oder politischer Szenarienvorgaben untersucht ("Wenn-Dann-Aussagen"). Das Ziel dieser Untersuchungen ist es, das Feld von Handlungsmöglichkeiten darzustellen oder auszuloten.

Die Energieperspektiven untersuchen sowohl massnahmenorientierte Szenarien (Szenarien „Weiter wie bisher“ und „Politische Massnahmen“) als auch zielorientierte Szenarien („Neue Energiepolitik“). Massnahmenorientierte Szenarien zeigen auf was passiert, wenn bestimmte Sätze energiepolitischer Prämissen oder Instrumente vorgegeben werden. Aus zielorientierten Szenarien ergeben sich mögliche Zielpfade für die Erreichung eines bestimmten Zieles - z.B. ein Emissionsziel pro Kopf oder ein Anteil an erneuerbaren Energien im Zieljahr (beispielsweise 2050). Im Detail finden sich dazu Hinweise in Kap. 2.1, sowie in den Diskussionen der Möglichkeiten und Grenzen der Methoden und Perspektiven (Kap. 2.5). Detaillierte Beschreibungen der konkreten Szenarien sind in Kap. 4, sowie in den einzelnen Szenarienkapiteln 7.3, 8.3 und 9.3 zu finden.

Für die Berechnung der Energieperspektiven werden für jeden einzelnen Sektor die möglichen Entwicklungen der Energienachfrage sowie des Energieangebots untersucht. Dafür werden Verwendungszwecke und Energieträger sowie die zugehörigen Umwandlungsformen im physikalischen Sinne dargestellt. Ausgangspunkt bilden dabei strikt das heutige Energiesystem (Basisjahr 2010) und die historischen Entwicklungen mit dem derzeit installierten Kapitalstock. Grundsätzlich wird die Trägheit des Kapitalstocks berücksichtigt, indem gestrandete Investitionen ausgeschlossen werden.

4.1.2 Funktionsweise der Energiesystemmodelle Nachfrage

Das Energiesystem wird auf physikalischer Grundlage mit der so genannten Bottom-up-Modellierung abgebildet. Hierbei werden in möglichst detaillierter Auflösung die energieverbrauchenden Komponenten des Energiesystems in der Abgrenzung und Aufteilung der nationalen Energiebilanz und Energiestatistik abgebildet. Der Energieverbrauch setzt sich konkret in den verschiedenen Verbrauchssektoren private Haushalte, Industrie, Dienstleistungen und Verkehr nach einer Vielzahl von Verwendungszwecken zusammen, wie z.B. Raumwärme, mechanischer Energie für die industrielle Produktion (mahlen, rühren, pumpen, zerteilen etc.), Prozesswärme (z.B. zum Schmelzen oder als Anregungsenergie für chemische Prozesse, aber auch zum Kochen) und Mobilität. Die Mengengerüste sind weiter detailliert nach verschiedenen Klassifikationen, die sich nach energetischen oder Nutzungseigenschaften, wie z.B. Gebäudetypen und Gebäudealtersklassen, Gerätetypen (Kühlschränke, Kühl-Gefrierkombinationen), Fahrzeugklassen und Fahrzeugalter, unterscheiden. Diese Detaillierungen

sind je nach Verbrauchssektoren unterschiedlich; die meisten Mengengerüste sind in so genannte „Kohorten“ nach Altersklassen aufgeteilt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die einzelnen Energieverbraucher mit ihren technischen oder ökonomischen/soziologischen Lebensdauern berücksichtigt werden und nach Ablauf dieser Lebensdauer durch Neugeräte ersetzt werden. Bei Gebäuden werden zusätzlich (energetische) Sanierungszyklen vorgesehen.

Der Energieverbrauch nach Energieträgern für diese einzelnen Verwendungszwecke wird durch so genannte „expansive Grössen“ (wie beheizte Wohnflächen, Anzahl von Fahrzeugen und produzierte Mengen wie t Schokolade oder Anzahl Tranzüge sowie „intensive Grössen“ (wie Effizienz von Heizungsanlagen, Fahrzeugklassen mit ihren spezifischen Energieverbräuchen sowie die spezifischen Energieverbräuche eingesetzter Maschinen und Prozessorganisationsformen) bestimmt. Die expansiven Grössen hängen vor allem von den sozioökonomischen Rahmenbedingungen ab, die intensiven Grössen sowohl von den sozioökonomischen Rahmenbedingungen als auch von Politikinstrumenten und Technologieentwicklungen. Das Stromangebot wird mit einem detaillierten Kraftwerkspark analysiert, in dem zahlreiche Kraftwerkstypen einzeln abgebildet sind, die nach verschiedenen Prioritäten und Optimierungskriterien eingesetzt werden können.

Grundlage für die Modellierungen ist eine exogene Vorgabe über die langfristige strukturelle Entwicklung der Gesellschaft und Wirtschaft (Bevölkerung, BIP, Branchenstrukturen) bis 2050. Gestützt auf diese Annahmen wird ein dynamisches (sich in der Zeit veränderndes) Gerüst von sogenannten Mengengeräten abgeleitet. Diese Mengengeräte beschreiben die für die Energienachfrage relevanten wirtschaftlichen Aktivitäten (z.B. beheizte Wohnflächen, Verkehrsleistungen 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 (modal split, verbesserte Auslastung des vorhandenen Fahrzeugparks).

In den einzelnen Szenarien entwickeln sich die spezifischen Energieverbräuche in Abhängigkeit von den politischen Rahmenbedingungen (Szenario WWB und POM) bzw. Zielsetzungen (Szenario NEP). Hierbei wirken sich die politischen Instrumente vor allem auf die Durchdringung der zum jeweiligen Zeitpunkt aktuellen guten und besten Standards aus. Wenn beispielsweise die Fördermittel für energetische Sanierungen erhöht werden, die nach bestimmten Kriterien vergeben werden, so können entsprechend mehr Flächen auf einen höheren energetischen Standard gebracht werden.

Die grundsätzlich zur Verfügung stehenden Technologien sind in allen Szenarien gleich. Bei einem entsprechenden „Push“ (politische Instrumente der Klassen Ordnungsrecht oder Förderung) oder „Pull“ (Zielsetzung oder preisorientierte Instrumente wie Lenkungsabgaben oder CO₂-Preise) verändern sich entsprechend die Verteilungen hin zu geringeren spezifischen Verbräuchen (z.B. A++ Klassen).

Es werden die mit den konkreten Investitionen verbundenen direkten gesamtwirtschaftlichen Mehr- oder Minderkosten der Szenarien POM und NEP gegenüber der „Referenz“ WWB Variante C (neue Gaskombikraftwerke, keine weitere Förderung erneuerbarer Energien über den beschlossenen Umlagepfad hinaus) berechnet. Diese setzen sich zusammen aus den Investitionskosten in zusätzliche Effizienztechnologien, entsprechenden Kostenelementen im Kraftwerkspark sowie als Gegenrechnung eingesparten Importkosten bei konventionellen Energieträgern.

4.1.3 Energiesystemmodell Elektrizitätsangebot

Es werden unter Berücksichtigung der im Zeitablauf veränderlichen Stromnachfrage und der begrenzten Stromspeichermöglichkeiten die zur künftigen Sicherstellung der Versorgungssicherheit notwendigen neuen Stromangebotskapazitäten berechnet. Diese fehlenden Kapazitäten können mit unterschiedlichen Kraftwerkstechnologien oder Importen gedeckt werden. Dazu werden verschiedene Szenarien (Angebotsvarianten C, C&E, E¹) erarbeitet. Diese Angebotsvarianten werden nach grundsätzlichen politischen Restriktionen bzw. Instrumenten ermittelt, z.B. ob Gaskombikraftwerke als in der Schweiz grundsätzlich möglich (bzw. erlaubt) oder nicht angesehen werden.

¹ Siehe Prognos 2012, S. 5ff: Angebotsvariante C: fossil-zentral, d.h. vorwiegend Gaskombikraftwerke; Angebotsvariante E: Erneuerbare Energien; Angebotsvariante C&E: Kombination erneuerbare Energien und Gaskombikraftwerke.

Wichtige Annahmen:

- **Grenzüberschreitender Handel:** Betrachtungsebene ist die nationale Bilanz. Es ist notwendig, die inländische Nachfrage nach Leistung und Arbeit zu jedem Zeitpunkt gesichert zu decken. Dies kann mit inländischen Kapazitäten (Var. C, C&E) sowie mit Unterstützung von Importen, ohne neue inländische Grosskraftwerke (Var. E) erfolgen. Bei dieser Variante E wird der angenommene Fall durchgerechnet, dass der Bau von Gaskraftwerken in der Schweiz nicht möglich ist. Exporte sind grundsätzlich eine Option, mit Überschüssen umzugehen. Exporte als „Geschäftsmodell“ (im Sinne extra hierfür aufgebauter Kapazitäten) werden nicht betrachtet. Im Rahmen der europäischen Ausregelung ist eine entsprechende Stromhandelsbilanz selbstverständlich möglich und wahrscheinlich. Bei der Betrachtung der Versorgungssicherheitsfragen geht es um die inländische Bilanz – wie übrigens auch in allen Stromdiskussionen in Europa. Abweichungen hiervon (dauerhafte Sicherstellung der Versorgungssicherheit durch Importe) müssen politisch diskutiert werden und sind keine Modellfragen.
- **Marktanreize:** Die Schliessung der Stromlücke wird rein physikalisch modelliert. Kraftwerke werden entsprechend der physikalischen Notwendigkeit und Verfügbarkeit betrieben. Es wird kein spezifisches Strommarktdesign unterstellt, nach dem sich zusätzliche Einsatzregeln für die vorkommenden Stromerzeugungstechnologien ergeben würden. Das liegt u.a. an den besonderen Restriktionen des Schweizer Kraftwerksparks (begrenzte Wasserkraft, begrenzte KKW-Laufzeiten) und an der vorgegebenen Förderlogik für die EE. Es kommt praktisch nur eine Sorte von „marktfähigen“ neuen Kraftwerken in Frage. Daher stellt sich die Frage der merit order (MO) nicht unbedingt. Das wäre anders, wenn beispielsweise noch neue Kohlekraftwerke als Option in Konkurrenz zur Verfügung stünden. Wenn sie gebaut sind, kann der Einsatz durchaus gemäss MO im Zusammenspiel mit der Wasserkraft erfolgen. Im Idealfalle (funktionierender MO-Markt) entsprechen diese dann den physikalischen Notwendigkeiten. Der gegenwärtige Grosshandelsmarkt hat keine Mechanismen, mit fluktuierender erneuerbarer Erzeugung umzugehen. Er wird derzeit extrem stark von den Ausbauten der erneuerbaren Energien in Europa mit garantierten Einspeisevergütungsmechanismen beeinflusst. Das derzeitige Marktdesign leidet darüber hinaus massiv am „missing money“-Problem, d.h. physikalisch notwendige Kraftwerke haben nicht genügend Anreize. Daher ist es notwendig, zunächst den physikalischen Bedarf zu ermitteln, der vor allem von den Laufzeiten der KKW dominiert wird. Ob dieser Bedarf dann inländisch oder ausländisch gedeckt wird, ist eine Frage der gesellschaftlichen Debatte, nicht der Modellierung. Daher werden hier Eckvarianten gerechnet.
- **Tolerierbare Residuallast:** Im physikalischen Sinne wird keine Residuallast toleriert. Die Dauerlinien der Residuallast in Figur II.3-14 werden als Zwischenschritte dargestellt, um das Problem zu zeigen. Negative Residuallast heisst Stromüberschuss, der entweder abgeschaltet oder exportiert oder weggespeichert werden muss. Ebenfalls wird zu jedem Zeitpunkt die Leistungsnachfrage gedeckt. Je nach Angebotsvariante geschieht dies inländisch oder kann durch Importe erfolgen.

4.2 Einschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen

Mit dem berechenbaren Gleichgewichtsmodellen SWISSGEM_E werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der in Prognos 2012 erstellten Energienachfrageszenarien berechnet (Ecoplan 2012, Ziff. 9, S. 67). Es handelt sich dabei um eine auf die Analysen des schweizerischen Energiesystems aufbauende Modellstudie mit einem volkswirtschaftlichen Fokus. Während sich in den bottom-up-Energiesystemmodellen die Verflechtungen zwischen den Akteuren nicht ändert, werden in den Modellierungen im Gleichgewichtsmodell die Rückkoppelungen zwischen den Akteuren berücksichtigt (bspw. nimmt die Nachfrage nach energieintensiver Güter ab, da diese teurer werden).

Die Ergebnisse der Simulationen der beiden Szenarien „Politische Massnahmen“ und „Neue Energiepolitik“ mit dem Gleichgewichtsmodell sind nicht als Prognosen zu verstehen, sondern sind Wenn-Dann-Analysen, welche unter vorgegebenen Energieverbrauchs- und CO₂-Emissionszielen aus den Energiesystemmodellen die Höhe der CO₂ und-Stromabgabe, die Auswirkungen auf BIP und Beschäftigung, auf Aussenhandels- und Struktureffekte, auf Wohlfahrtseffekte und auf soziale Verteilungseffekte ermitteln.

Wichtige Charakteristiken des Modells

- **Einländer-Modell:** Die schweizerischen Politikszenerarien haben keinen Einfluss auf das Preisniveau der internationalen Märkte. Diese Märkte bleiben exogen bestimmt. Der Aussenhandel wird mit dem sogenannten Armingtonansatz (die gehandelten Güter sind nicht homogen, dadurch ist intraindustrieller Handel möglich) modelliert.
- **Rekursiv-dynamisch:** Die Wirtschaftsakteure lassen sich in ihren Entscheidungen von den jeweiligen Preisen leiten und sind nicht vollständig über die zukünftigen Entwicklungen informiert. Die Veränderung des Kapitalstockes wird über die Jahre explizit modelliert, es erfolgt aber nicht eine perfekte Optimierung des Kapitaleinsatzes über die gesamte Periode (siehe Ecoplan 2012, S.24).
- **Grundlagendaten** stammen aus der Schweizer Input-Output-Tabelle 2008.
- **Modellstruktur und Elastizitäten** siehe Ecoplan 2012, Ziff. 9, S. 67ff
- Die verschiedenen **Elastizitäten** werden auf den S. 76 - 84 in Ecoplan 2012 im Detail dargestellt.

Kalibrierung und Referenzszenario

Die Parameter des Modells werden so eingestellt (kalibriert), dass das Modell im Referenzszenario die Ausgangsdaten der Input-Output-Tabelle 2008 (siehe Ecoplan 2012, S. 86) wiedergibt, welche den Güterkreislauf in der Schweiz im Jahr 2008 beschreibt. Zudem wird das Modell so eingestellt, dass das Modell bei gleichen sozio-ökonomischen Rahmenbedingungen die Ergebnisse des Szenarios WWB Variante C (die Variante mit fossilen Energien) jährlich bis 2050 der Prognos-Studie einschliesslich Energiestruktur und Stromproduktion repliziert. Die Mehrkosten der Stromangebotsvariante C&E werden auf Seite 54 von Ecoplan (2012) diskutiert und dargestellt.

Szenarienbildung

Im Modell stehen zwei Variablen zur Verfügung, durch deren Variation unterschiedliche Szenarien gebildet werden. Es handelt sich um die Strom- und die CO₂-Abgabe. Diese beiden Politikvariablen werden so eingestellt, dass das Modell im Szenario POM und NEP in Bezug auf den gesamten Stromverbrauch und die gesamten CO₂-Emissionen die gleichen Ergebnisse wie das Prognos-Modell repliziert. Damit können die Ziele des Szenarios POM abgebildet werden. Die vielen einzelnen Instrumente und Massnahmen der ersten Etappe (Fördersystem) werden im Gleichgewichtsmodell aber nicht einzeln abgebildet (vgl. dazu S. 33, Ecoplan 2012).

4.3 Netzmodelle

Die Resultate der Energiesystemmodelle (Stromangebot und Stromnachfrage) bilden die Grundlage der Berechnungen (Consentec 2012a und 2012b). Die Stromnetze sind das Bindeglied zwischen Produktion und Verbrauch. Die Umstellung der Stromproduktion auf dezentrale Anlagen mit erneuerbaren Energiequellen, die witterungsabhängig produzieren und die Reduktion des Stromverbrauchs haben Auswirkungen auf das Stromnetz und die Systemdienstleistungen. Diese müssen im Gleichschritt aus- und umgebaut werden. Der Ausbaubedarf im Übertragungsnetz in der Schweiz wird hauptsächlich bestimmt durch den grenzüberschreitenden Handel zwischen Nachbarländern (z.B. Strom fliesst von Frankreich über die Schweiz nach Italien). Die Umstellung des Stromsystems in der Schweiz auf erneuerbare Energien hat keinen wesentlichen Einfluss auf den Ausbaubedarf. Zwölf in der Analyse identifizierte Netzausbauprojekte müssten sowieso d.h. unabhängig vom künftigen Strommix ausgebaut werden. Diese befinden sich mehrheitlich an der Grenze zu Italien.

Es wird eine international koordinierte Klimapolitik unterstellt (IEA 2010 und Eurelectric 2010). Der darin enthaltene Zubau mit KKW wurde durch GuD ersetzt. Die Nachfragespitze beträgt 2035 und 2050 jeweils 10,5 GW.

Marktpreise, Gestehungskosten sowie die Entwicklung des Kraftwerksparks stammen aus EU-Trends und Eurelectric 2010 .

Der in der Energiestrategie 2050 geplante Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion führt zu einem Ausbaubedarf im Verteilnetz. Der Ausbaubedarf ergibt sich durch verschiedene physikalische Effekte, die im Zusammenhang mit dem Stromtransport stehen. Es können Leitungen und Transformatoren aufgrund der Einspeisung überlastet werden oder Probleme in der Einhaltung gesetzter Spannungsgrenzen auftreten.

Zum Schweizer Verteilnetz zählen die Netzebenen (NE) drei bis sieben, d.h. vom überregionalen Verteilnetz (bis 150 kV, NE 3) bis zum lokalen Verteilnetz (400 Volt, NE 7). Erzeugungsanlagen werden

abhängig ihrer Leistung auf einer Netzebene angeschlossen. So speist zum Beispiel eine kleinere Photovoltaik-Anlage bis 20 kW den Strom üblicherweise im lokalen Verteilnetz d.h. auf Netzebene 7 ein. Ausgehend vom Mengengerüst, welches in der Modellnetzanalyse zugrunde gelegt wird (in km) besteht folgender Ausbaubedarf bis 2050:

- Netzebene 4: zwischen 60 und 90%
- Netzebene 5: zwischen 25 und 30%
- Netzebene 6: zwischen 25 und 50%.²

Die Bandbreiten je Netzebene ergeben sich aufgrund unterschiedlicher räumlicher Verteilung der Anlagen (Konzentrationsgrad) und der Ausbautechnologie. Neue innovative Netz- und Spannungshaltungs-Technologien können dazu beitragen, den Ausbaubedarf in Richtung der unteren Grenze der genannten Bandbreiten zu begrenzen. Dieser Ausbau führt im Verteilnetz zu Investitionen bis zu 11,2 Milliarden Franken im Szenario NEP und der Angebotsvariante C+E.

4.4 Zusammenspiel der verwendeten Modelle

- Die Energiesystemmodelle liefern mit ihren bottom-up-Modellierungen die energetischen Inputs (Energienachfrage, Stromnachfrage und Stromangebot) für die Modellierung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen und die Netzfragen. Damit ist gewährleistet, dass in diesen Untersuchungen für den Energiebereich dieselben Rahmenentwicklungen (Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Branchenentwicklung, Energiepreisentwicklungen) verwendet werden.
- Im allgemeinen Gleichgewichtsmodell fließen zudem explizit dieselben Rahmenentwicklungen (Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum, Branchenentwicklung, Energiepreisentwicklungen) in die Berechnungen ein. Zudem werden die von den bottom-up Energiesystem - Modelle berechneten autonomen Energieeffizienzfortschritte, die CO₂-Emissionen nach Energieträger, die Stromnachfrage, sowie der Kraftwerkspark in Jahresschritten bis 2050 übernommen (siehe EcoPlan 2012, Seite 86).
- Eine Integration der Ergebnisse des Gleichgewichtsmodells in die bottom-up-Energiesystemmodelle ist möglich. Da die Auswirkungen der unterschiedlichen Szenarien - insbesondere auf die Branchenstruktur - relativ gering sind, wurde darauf verzichtet.
- Die Netzmodelle liefern, basierend auf den Nachfragen und Angebotsvarianten der Energiesystemmodelle die spezifischen technischen Anforderungen der Stromübertragung und deren Kosten.
- Die Ergebnisse aller verwendeten Modelle sind in Bezug auf das Energiesystem (und die „umgebende Welt“) Wenn-Dann Aussagen.

5. Vorgaben

Da der Ausgangspunkt der Arbeiten von den bottom-up Modellen des Energiesystems gebildet wird, deren Resultate wie unter 3 beschrieben Inputs für andere Modellarbeiten bilden, brauchen diese als Startpunkt Vorgaben, welche als exogene Grundlage in die Modelle eingebaut werden müssen. Es braucht Vorgaben zu den gewünschten Szenarien, die analysiert werden sollen sowie gesamtwirtschaftliche Rahmendaten, in welche das Energiesystem eingebaut werden kann. Letztere bilden eine wichtige Grundlage für die Ausarbeitung von abgeleiteten, spezifisch für die Beschreibung und Fortschreibung des Energiesystems notwendigen Grundlagen. Im Idealfall sind die Rahmendaten für die Vergangenheit vorhanden und stehen bis 2050 in Jahresschritten zur Verfügung. Wenn dies nicht der Fall ist, werden Fortschreibungen der vorhandenen Daten gemacht. In den folgenden Abschnitten werden die „Wenn“- Vorgaben dargestellt, welche die Szenarien beschreiben und definieren. In einem weiteren Abschnitt wird auf die gesamtwirtschaftlichen Rahmendaten eingegangen und schliesslich werden einige wichtige aus diesen Rahmendaten abgeleitete Grössen vorgestellt. Aus der Definition von Wenn-Vorgaben wird noch ein Mal deutlich, dass diese Arbeit keine Prognosen beinhaltet, sondern aufgrund der „Wenn“- Vorgaben- „Dann“- Folgerungen erarbeitet werden.

5.1 Wenn-Vorgaben für die Szenarien

Die Grundlage der Szenarienarbeiten bildet in der Regel eine Wenn- Welt „Weiter wie bisher“. Dies ist ein sogenanntes Massnahmen- und Instrumenten-Szenario. Die zum Zeitpunkt der Erarbeitung vorhandenen Gesetze, Massnahmen usw. werden in die Zukunft fortgeschrieben. Dieses Szenario wird als Ausgangsinformation verwendet, um in den Modellen daraus die anderen vorgegebenen Szenarien

² Diesen Ergebnisse liegt das Nachfrageszenario NEP und das Angebotsvariante C+E zugrunde.

rien abzuleiten. Für die Energieperspektiven 2050 ist neben dem Massnahmenszenario „Weiter wie bisher“ ein weiteres Szenario mit einem Satz von Massnahmen vorgegeben worden, welches die vom Bundesrat im Jahre 2012 verabschiedeten Massnahmen umfasst. Zudem ist ein Zielszenario definiert worden: Mit den Modellen soll ein Energiepfad aufgezeigt werden, welcher zum Ziel hat, in 2050 ein Energiesystem zu erreichen, welches pro Kopf einen energetisch bedingten CO₂ -Ausstoss von rund 1,5 t aufweist.

Die in den Massnahmen- und Instrumentenszenarien „Weiter wie bisher“ und „Politische Massnahmen des Bundesrates“ zu berücksichtigenden Massnahmen und Instrumente (das heisst die Wenn-Aussagen der Szenarien) sind in der Tabelle A3-1 zusammengefasst. Für das Zielszenario „Neue Energiepolitik“ sind weit weniger detaillierte „Wenn-Angaben“ als für die Massnahmenszenarien „Weiter wie bisher“ und „Politische Massnahmen“ notwendig. Während das Szenario „Politische Massnahmen“ Instrumente und Massnahmen verwendet, welche von der Schweiz unabhängig von der Politik des Auslandes ergriffen werden können, bedingt das Zielszenario „Neue Energiepolitik“ eine international abgestimmte Energiepolitik. Beispielsweise braucht es im Verkehr eine verstärkte Anwendung heute bekannter best-practice Technologien. Diese können in der Schweiz nur in verstärktem Masse verwendet werden, wenn die europäische und überseeische Autoindustrie entsprechende Fahrzeuge bereitstellt .

Tabelle A3-1: Annahmen zu den Szenarien „Weiter wie bisher“, „Massnahmen Bundesrat“ und „Neue Energiepolitik“

Weiter wie bisher	Politische Massnahmen des Bundesrates	Neue Energiepolitik
Private Haushalte, Gebäude		
<ul style="list-style-type: none"> • moderate Fortschreibung MuKEN • Gebäudeprogramm 200 Mio. Fr. • Förderung Erneuerbare aus Gebäudeprogramm • moderate Fortschreibung Standards 	<ul style="list-style-type: none"> • Verschärfung MuKEN • Ersatz Widerstandsheizungen • Gebäudeprogramm 300 Mio. Fr ab 2014 600 Mio. Fr. ab 2015 • Standardverschärfungen Geräte, Haustechnik • Ersatzneubauten • SIA 380/4 in Mehrfamilienhäusern und gemischten Wohngebäuden verbindlich 	<p>strategische Oberziele:</p> <ul style="list-style-type: none"> • CO₂-Emissionen bis 2050 1-1.5 t pro Kopf. • begrenzte nachhaltige Biomassepotenziale <p>abgeleitete strategische Voraussetzungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Effizienz vor Erneuerbaren • Raumwärme wegsparen
Industrie und Dienstleistungen		
<ul style="list-style-type: none"> • wettbewerbliche Ausschreibungen 16 - 27 Mio. CHF/a • freiwillige Selbstverpflichtungen 	<ul style="list-style-type: none"> • wettbewerbliche Ausschreibungen 100 Mio. Fr. pro Jahr • Effizienzboni bzw. auf CO₂-Abgabe und KEV-Umlage • Optimierung Gebäudebetrieb • Förderung ORC-Anlagen 	<ul style="list-style-type: none"> • Stromeffizienz wesentlich (u.a. Kühlung) • Elektromobilität notwendig • Leichte Veränderungen in Verkehrsmengen und modal split • Biomassen prioritär in Güterverkehr und WKK - Stromproduktion
Verkehr		
<ul style="list-style-type: none"> • Emissionsgrenzwerte EU-Richtlinie (130 bzw. 95 g CO₂/km) in 2030 erreicht • Effizienzverbesserung Verkehrsgestaltung 	<ul style="list-style-type: none"> • verschärfte Flottengrenzwerte Emissionsgrenzwerte EU-Richtlinie (130 bzw. 95 g CO₂/km) in 2020 erreicht, (35 g CO₂/km in 2050) • Verkehrsorganisation 	

Quellen: BFE, Prognos 2012

Neben diesen grundsätzlichen Angaben der Szenariendefinition sind eine Reihe weiterer Vorgaben, vor allem für die Ausgestaltung des Stromangebotes notwendig.

Es muss festgelegt werden, welche Stromangebotsvarianten für die Szenarien gerechnet werden sollen. Für die Energieperspektiven 2050 sind die in Tabelle A3-2 dargestellten Angebotsvarianten beschrieben.

Tabelle A3-2: Beschreibung der Angebotsvarianten des Bundesrates und Varianten des Elektrizitätsangebotes

Bundesrat	Bezeichnung	Beschreibung
Stromangebotsvariante 2 (Kein Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke am Ende ihrer Betriebszeit)	C ¹⁾	Gaskraftwerke: Die Elektrizitätsnachfrage wird im Inland gedeckt. Sobald die inländische Produktion nicht ausreicht, werden zur Deckung der Produktionslücke GuD zugebaut
	C & E ¹⁾	Kombination aus Gaskraftwerken und erneuerbaren Energien: Das Potenzial der erneuerbaren Stromproduktion wird verstärkt ausgenutzt. Sobald die inländische Produktion des bestehenden Produktionsparks und der zugebauten erneuerbaren Produktion nicht ausreicht, werden zur Deckung der bestehenden Produktionslücke GuD zugebaut
	E ¹⁾	Erneuerbare Energien und Importe: Die Lücke wird soweit möglich mit erneuerbaren Energien geschlossen. Zur Deckung einer allfälligen Deckungslücke zwischen in der Schweiz produzierter Elektrizität und der schweizerischen Elektrizitätsnachfrage wird nach Bedarf Strom importiert.

¹⁾ autonomer Zubau von WKK enthalten.

In der Tabelle A3-3 sind die in den Szenarien berechneten Angebotsvarianten zusammengefasst. Mit dem Beschluss des Bundesrates, bestehende KKW nicht zu ersetzen, reduzieren sich die Möglichkeiten des Stromangebotes. Es stehen im Inland fossil-thermische und erneuerbare Technologien zur Verfügung oder als weitere Alternative Importe zur Auswahl. Die Auswahl ist zusätzlich beschränkt worden mit der Vorgabe, für WKK nur einen autonomen Zubau zuzulassen (und damit keine Angebotsvariante WKK explizite darzustellen). Eine Diskussion von WKK-Szenarien findet sich im Anhang des Berichtes von Prognos. Es werden nicht alle Stromangebotsvarianten in allen Szenarien dargestellt. Beispielsweise ist eine Variante E (erneuerbar) in einem Szenario „Weiter wie bisher“ nicht mit der Szenariendefinition kompatibel, die heutige Politik weiter zu führen.

Tabelle A3-3: Angebotsvarianten der Politikvarianten der Energieperspektiven 2050

Stromangebotsvarianten \ Politikvariante	C ¹⁾	C&E ¹⁾	E ^{1) 2)}
„Weiter wie bisher“ (WWB)	x	x	
„Massnahmen Bundesrat“ (POM)	x	x	x
„Neue Energiepolitik“ (NEP)	x	x	x

¹⁾ autonomer Zubau von WKK enthalten (im Exkurs II Prognos 2012, S.673 wird die Stromerzeugung WKK diskutiert)

²⁾ in der Variante E wird für die Elektrizitätsimporte der europäische Strommix verwendet

Die Festlegung unterschiedlicher Angebotsvarianten bewirkt, dass eine vorgegebene Variante, einmal gewählt, bis 2050 verwendet wird. Es werden keine Optimierungen zwischen den Varianten vorgenommen. Es werden Eckvarianten dieser Technologien berechnet. Neben einer Deckung der Stromnachfrage hauptsächlich im Inland (Varianten C und C&E) wird eine Variante E gerechnet, welche einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energieträger vorsieht und die damit nicht gedeckte inländische Nachfrage nach Strom durch Importe deckt.

Die in Tabelle A3-4 vorgegebenen Instrumente beeinflussen auch das Elektrizitätsangebot. Die vorgegebenen Fördergelder (KEV pro Jahr) bestimmen den Ausbaupfad der erneuerbaren Stromproduktion. Insgesamt können nicht mehr Erzeugungsanlagen zugebaut werden als Fördergelder zur Verfügung stehen, falls und solange es sich um Technologien handelt, die – unter ökonomischen Gesichtspunkten betrachtet – von Förderung abhängig sind.

Für die Energieperspektiven 2050 sind explizite Vorgaben zur Laufzeit der KKW (50 Jahre Laufzeit) vorgegeben worden (siehe Tabelle A3-4). Im Elektrizitätsangebotsmodell ist jedes KKW einzeln abgebildet.

Tabelle A3-4: Vorgegebene Betriebszeiten je KKW

Kernkraftwerke (KKW)	Betriebsdauer Stromangebotsvariante 2 des Bundesrates
Beznau I (365 MW _{el})	1969 – 2019
Beznau II (365 MW _{el})	1972 – 2022
Mühleberg (373 MW _{el})	1972 – 2022
Gösgen (985 MW _{el})	1979 – 2029
Leibstadt (1190 MW _{el})	1984 – 2034

5.2 Sozio-ökonomische Rahmendaten

Neben den in 3.1 dargestellten generellen Vorgaben wird das Energiesystem von der schweizerischen Wirtschaftsstruktur, der Bevölkerungsentwicklung usw. wesentlich beeinflusst. Diese Rahmendaten sind exogen vorgegeben und bleiben in den Energieperspektiven 2050 unverändert³ (Prognos 2012: Kap. 3 Gemeinsame Rahmendaten, S. 51ff).

Diese Vorgaben sind notwendig, da in den Szenarien die von der Bevölkerung und der Wirtschaft benötigten Energiemengen berechnet werden sollten. Energie sollte insbesondere in einer effizienten ressourcenarmen reichen Volkswirtschaft keinen limitierenden Faktor darstellen. Da der Anteil der Kosten des Energiesystems am BIP nur wenige Prozent ausmacht, sind Rückwirkungen auf die Mengengerüste gering, wie auch die Ergebnissen des Gleichgewichtsmodells zeigen.

Annahmen und Quellen:

- **Bevölkerungswachstum:** Gemäss den Schätzungen des Bundesamts für Statistik (BFS, Szenario Trend 2010) liegt die durchschnittliche jährliche Zuwachsrate der Bevölkerung bei 0,6%. Demnach wohnen im Jahr 2050 rund 9 Millionen Menschen in der Schweiz. Dies sind rund 16% mehr als im Jahre 2010.
- **Wirtschaftswachstum:** Das SECO hat basierend auf den Bevölkerungsszenarien des BFS eine durchschnittliche jährliche Zuwachsrate des BIP von 1,2% geschätzt. Gegenüber 2010 wächst das BIP (real zu Preisen von 2010) bis 2050 um rund 65% (SECO, 2011).
- **Schweizerische Branchenstrukturen:** Basierend auf den Bevölkerungsszenarien des BFS und den darauf aufbauenden BIP-Schätzungen des SECO haben die Schweizerische Bundeskanzlei und das Bundesamt für Statistik Szenarien für die Branchenentwicklung für die nächsten 20 Jahre unter Einbezug einer interdepartemental zusammengesetzten Begleitgruppe ausarbeiten lassen. Die Szenarien schreiben den Trend hin zu einer hochtechnologischen Industrie- und zur Dienstleistungsgesellschaft fort. Das Branchenszenario wird in den bottom-up Energiesystem-Modellen für alle drei betrachteten Szenarien als exogene Vorgabe unverändert übernommen. Das allgemeine Gleichgewichtsmodell verwendet die Struktur für das Referenzszenario WWB.
- **Verkehrsszenarien:** Das ARE hat im Frühjahr 2012 seine Verkehrsperspektiven mit dem Bevölkerungsszenario 2010 des BFS aufdatiert. Für den Sektor Verkehr werden diese aktualisierten Grundlagen verwendet.

Das BFE verwendet, soweit vorhanden, offizielle von andern Bundesstellen ausgearbeitete Datengrundlagen. Damit sind die Datenquellen transparent. Zudem hilft dieses Vorgehen mit, die Vergleichbarkeit von Studien der Bundesverwaltung zu verbessern. Die Begleitgruppe Wirtschaftsszenarien des Perspektivstabs hat die Branchenszenarien ausgearbeitet. Unter der Leitung der Bundeskanzlei mit Vertretern des SECO, des BFS, des BSV, der EFV, der ESTV, des BAFU, des BFE und des ARE werden solche Aufgaben wahrgenommen.

Die exogen vorgegebenen Mengenkomponten beeinflussen die Ergebnisse wesentlich. Allerdings kann **nicht** eindeutig davon ausgegangen werden, dass eine Unterschätzung der Mengenkomponten (unterstelltes Bevölkerungswachstum oder Wirtschaftswachstum sind zu gering) zu einer Unterschätzung der notwendigen Politik führt oder umgekehrt. Die Auswirkungen von unterschiedlichen Mengenkomponten sind nicht proportional. Beispielsweise bedeutet mehr Bevölkerung mehr Neubauten mit besserem Baustandard als der Durchschnitt oder stärkere Entwicklung der modernen hochproduktiven, wissensintensiven und effizienteren Firmen sowie Branchen. D.h. es gibt auch ge-

³ Im Verkehrssektor wird für das Szenario NEP eine Ausnahme gemacht und eine schwächere Verkehrszunahme unterstellt (siehe Prognos 2012, S. 67 - 68).

genläufige antiintuitive Entwicklungen. Es ist sogar nicht ausgeschlossen, dass die spezifische Eingriffstiefe bei höherem BIP und Bevölkerung geringer wird und umgekehrt.

Um den Einfluss der Bevölkerungsentwicklung auszuschliessen, ist die Zielvorgabe des Szenario NEP nicht als absolutes Mengenziel definiert worden, sondern es ist ein (relatives) energiebedingtes Emissionsziel pro Kopf vorgegeben worden.

5.3 Abgeleitete Mengengerüste aus den Rahmendaten

Die wesentlichen Mengengrössen sind Bevölkerungsentwicklung und BIP-Entwicklung nach Branchenstruktur (inklusive Beschäftigte). Diese Vorgaben bestimmen wesentlich die daraus für die Modelle abgeleiteten Grössen. In Kap. 2 wird jeweils auf die grundsätzlichen Prinzipien bei der Fortschreibung der Mengengrössen eingegangen.

Stellvertretend für all die notwendigen Mengengerüste werden einige der Grundlagen in Kürze dargestellt.

5.3.1 Haushaltssektor

Im Haushaltssektor sind die Grössen abhängig von der Verwendung. Entweder bestimmt die Energiebezugsfläche (die wiederum mit dem BIP/Kopf korreliert), die Anzahl Personen oder die Anzahl Haushalte (zur Haushaltsstruktur vgl. Tab. 3-1 und Tab. 3-2) die notwendige Zahl von Geräten zur Deckung des Energiebedarfs eines Verwendungszwecks (z.B. Heizanlagen, Waschmaschinen, Staubsauger).

Energiebezugsflächen (Raumwärme)

Die Flächen stammen – siehe Prognos 2012, Abschnitt 3.1.4 – von Wüest und Partner. Die wichtigsten Bestimmungsgrössen sind die Bevölkerung und das BIP. Statistische Grundlage bildet das Gebäude- und Wohnungsregister des BFS (siehe Tabelle A3-5). Da sowohl das BIP als auch die Bevölkerung ansteigen, steigt die notwendige Energiebezugsfläche. Wie in 4.2 ausgeführt ist die Relation Energiebezugsfläche und Energieverbrauch nicht linear.

Tabelle A3-5: Energiebezugsflächen nach Sektoren in Mio. m² (Zweit und Ferienwohnungen inkl.)

	2000	2010	2020	2035	2050
Private Haushalte	416.5	486.7	560.5	631.4	665.8
Industrie	67.3	70.3	76.4	77.8	80.7
Dienstleistungen	139.7	151.8	161.68	176.5	191
Total	623.5	708.8	798.53	885.7	937.5

Quellen: Wüest und Partner, BFS: Volkszählung 2000, Fortschreibung Prognos 2012

Elektrogeräte

Wiederum sind BIP und Bevölkerung die wesentlichen Treiber der Nachfrage nach Geräten im Haushaltsektor Tabelle A3-6.

Tabelle A3-6: Haushalte, MengenkompONENTEN, Gerätezahl in Tausend

	2000	2010	2020	2035	2050
Beleuchtung (in Mio. m² EBF)	404	475	548	618	651
Geschirrspüler	1650	2183	2814	3433	3705
Kühlschrank	3046	3332	3633	4025	4232
Kühl-Gefrier-Kombi	836	1193	1527	1643	1664
Tiefkühltruhe	1038	596	347	207	144
Tiefkühlschrank	1022	1818	2303	2638	2741
Waschmaschine	2990	3434	3822	4045	4090
Waschtrockner	39	78	140	230	294
Wäschetrockner	1561	2498	3223	3705	4067
Farb-TV	3678	4185	4773	5256	5432
Video	2528	3071	3782	4570	5053
Computer	2061	5267	6831	8053	8524
Mobil-, Schnurlostelefon	5335	9022	10456	12990	13422

Quelle: Prognos 2012

5.3.2 Industrie und Dienstleistungssektor

In den Sektoren Industrie und Dienstleistungen werden die Grössen je nach Verwendung mit den Flächen (Raumwärme, Klimatisierung) nach Branchen, nach Beschäftigten (Warmwasser) oder nach Bruttowertschöpfung oder der Produktionsmenge (thermische und mechanische Prozesse, IKT) fortgeschrieben. Wie im Bericht angemerkt, werden zusätzlich die Ausstattungsgrade für Klimatisierung, Beleuchtung und IKT insbesondere im Dienstleistungssektor erhöht. Dies bedeutet, dass im Dienstleistungssektor die Energieverbräuche für „Klimatisierung, Beleuchtung, IKT“ stärker wachsen als die Bruttowertschöpfungen der entsprechenden Branchen.

Industriesektor

Aus den Branchenszenarien des Perspektivstabes bestimmen die Wertschöpfungen als Ausgangspunkt die Entwicklung. Als Beispiel eines daraus abgeleiteten Mengengerüsts die Energiebezugsflächen nach Branchen in der Industrie (siehe Tabelle A3-7).

Tabelle A3-7: Energiebezugsflächen nach Branchen und Nutzung (P: Produktionshalle, B: Büroräume, L: Leerstand)

Branche und Nutzung		2000	2010	2020	2035	2050
Nahrung	P¹⁾	7193	7257	7969	7730	7501
	B	707	698	578	709	664
Bekleidung	P	2407	1787	1420	1165	1176
	B	195	215	219	196	138
Papier	P	1781	1695	1692	1707	1763
	B	158	140	135	112	81
Chemie	P	3871	4381	4768	5121	5200
	B	1131	1158	1184	1221	1256
Mineralien	P	2332	2374	2324	1926	1632
	B	177	180	176	148	127
Metalle	P	754	749	742	744	586
	B	165	172	172	144	95
Metallerzeugnisse	P	5337	5311	5538	4456	3567
	B	1058	1053	1097	883	707
Elektrotechnik	P	9943	12786	15169	16312	17860
	B	1902	2040	2061	1873	1422
Maschinenbau	P	8828	8165	9278	9804	10512
	B	1860	1811	1893	1932	1984
Energie	P	1187	1208	1245	1474	1946
	B	447	441	431	369	246
Bau	P	3259	3496	4115	4865	6191
	B	2303	2315	2328	2338	2349
übrige	P	8762	9301	10247	11020	12056
	B	1577	1575	1582	1587	1590
genutzt und beheizt	P	48698	47245	56535	58128	61342
	B	10746	10875	11100	10777	9979
ungenutzt und beheizt	P	6955	11266	7971	8196	8649
	B	935	926	757	735	680
Total	P	55653	58511	64506	66324	69991
	B	11681	11798	11857	11512	10659
	L	14896	16414	15141	12140	9895
Insgesamt		82230	86723	91504	89976	90545

¹⁾ P: Produktionshalle, B: Büroräume, L: Leerstand

Quelle: Prognos 2012

Im Industriesektor spielt die Nachfrage nach Prozesswärme eine hervorgehobene Rolle, die Heizenergie für Raumwärme ist von eher untergeordneter Bedeutung. Aus den vorgegebenen Branchenerzeugnissen werden Produktionszahlen abgeleitet, welche in detaillierten Produktionsprozessen umgesetzt werden. Die Zahl der Produktionsprozesse ist in Tabelle A3-8 dargestellt.

Tabelle A3-8: Branchenaufgliederung und Anzahl Prozesse, Industriesektor

Branche	Unterbranchen	Produktionsprozesse	Haustechnikprozesse
Nahrung	4	18	4
Bekleidung	2	6	4
Papier	2	17	4
Chemie	4	19	4
Mineralien	5	21	16
Metalle	4	22	8
Metallerzeugnisse	4	15	4
Elektrotechnik	2	7	4
Maschinenbau	1	9	4
Energie	1	2	4
Bau	3	4	4
übrige	6	24	4
Total Industrie	38	164	64

Quelle: Prognos 2012

Dienstleistungssektor

Im Dienstleistungssektor bilden die Erwerbstätigen eine wichtige abgeleitete Grösse. Sie bestimmen Branchen-abhängig die Nachfrage nach Wärme, Kälte und den übrigen Verwendungszwecken. Die abgeleitete Erwerbstätigenentwicklung ist in Tabelle A3-9 dargestellt.

Tabelle A3-9: Bruttowertschöpfung (BWS) und Erwerbstätige im Dienstleistungssektor, nach Branchen

	2000	2010	2020	2035	2050
Erwerbstätige (in 1000)					
Landwirtschaft	153	144	130	80	49
Handel	550	576	643	690	741
Kredit/Versicherung	194	229	241	246	250
übrige Dienstleistungen	912	1094	1125	1081	1042
Gesundheit/Soziales	329	422	504	611	741
Erziehung/Unterricht	185	220	225	217	208
Gastgewerbe	209	204	208	154	114
Total Erwerbstätige	2532	2888	3076	3078	3146
Bruttowertschöpfung (real, Basis 2010 in Mrd. Fr.)					
Landwirtschaft	5.7	5.6	6.1	4.3	2.8
Handel	59	70	85	103	125
Kredit/Versicherung	54	59	65	76	89
übrige Dienstleistungen	162	195	218	238	262
Gesundheit/Soziales	25	34	43	54	68
Erziehung/Unterricht	3	2.9	3.2	3.5	4
Gastgewerbe	13	12	13	10	8
Bruttowertschöpfung Total	322	378	432	489	558

Quellen: BK, 2012, BFS, 2012, Prognos 2012

5.3.3 Verkehr

Die Verkehrsnachfrage wird in Kap. 3.2 hergeleitet und explizit in Tab. 3-5 (S. 68) dargestellt.

Die verwendeten Mengengerüste stammen aus den Verkehrsperspektiven des ARE und sind in der Tabelle A3-10 zusammengestellt.

Tabelle A3-10: Verkehrsnachfrage im Personen- und im Güterverkehr in den Szenarien „Weiter wie bisher“ (WWB), „Massnahmen Bundesrat“ (POM) und „Neue Energiepolitik“ (NEP)

WWB POM	Einheit	2000	2010	2020	2035	2050
Personenverkehr Strasse	Mrd. PKm	85.3	93.2	104.6	114.5	85.3
Personenverkehr Schiene	Mrd. PKm	14.8	21	26.5	31.5	14.8
Total Personenverkehr	Mrd. PKm	100.1	114.2	131.1	146	100.1
Güterverkehr Strasse	Mrd. tKm	13.6	17	20	22.7	13.6
Güterverkehr Schiene	Mrd. tKm	10	9.9	14.3	17.6	10
Total Güterverkehr	Mrd. tKm	23.6	26.9	34.2	40.3	23.6
NEP	Einheit	2000	2010	2020	2035	2050
Personenverkehr Strasse	Mrd. PKm	85.3	93.2	97.3	98.1	85.3
Personenverkehr Schiene	Mrd. PKm	14.8	21	29.3	38.9	14.8
Total Personenverkehr	Mrd. PKm	100.1	114.2	126.6	137	100.1
Güterverkehr Strasse	Mrd. tKm	13.6	17	18.6	19.1	13.6
Güterverkehr Schiene	Mrd. tKm	10	9.9	16	20.2	10
Total Güterverkehr	Mrd. tKm	23.6	26.9	34.5	39.3	23.6

Quelle: ARE, Berechnungen Infras 2012

5.4 Internationale Rahmenbedingungen

5.4.1 Internationale Wirtschaftsentwicklung

In den Energieperspektiven wird davon ausgegangen, dass sich die schweizerischen Zielvorgaben und Politikinstrumente langfristig in ein globales energie- und Klimaschutzpolitisches Konzept einordnen. Die Szenarien „Weiter wie bisher“ und „Politische Massnahmen“ und „Neue Politik“ sind in die Weltszenarien des „World Energy Outlook“ (2010) der IEA eingebettet. Für die Szenarien „Weiter wie bisher“ und „Politische Massnahmen“ kommt das „New Policies Scenario“ zur Anwendung. Dieses Szenario geht davon aus, dass die international angekündigten Massnahmen und Politiken umgesetzt werden.

Dem Szenario „Neue Energiepolitik“ werden die internationalen Rahmendaten des „450 Szenarios“ der IEA zugrunde gelegt. Dieses Szenario geht davon aus, dass weltweit Massnahmen ergriffen werden, die den CO₂-relevanten Energieverbrauch auf ein Niveau bringen, das die globale Erwärmung auf 2° C limitiert. Das Szenario erfordert insbesondere eine international koordinierte und vertiefte Zusammenarbeit im Bereiche Forschung und Entwicklung.

Kurze Erläuterungen hierzu finden sich im World Energy Outlook 2010 der IEA, bzw. in Abschnitt 3.3 des Berichtes von Prognos.

5.4.2 Preise und ihre Anwendung in den Modellen

Die schweizerischen Energiepreise werden wesentlich von Weltmarktpreisen bestimmt. In den Energieperspektiven werden Weltmarktpreisszenarien der IEA verwendet, von denen die Endverbraucherpreise abgeleitet werden. Für den inländischen Strompreis kommen zusätzlich die Gestehungskosten im Kraftwerkspark inkl. Brennstoffkosten und Netzkostenentwicklungen zur Anwendung. Steuern als Element der Preisbildung werden ebenfalls berücksichtigt.

Den Szenarien WWB, POM und NEP werden unterschiedliche Preisszenarien zugrunde gelegt, da ein ambitioniertes Zielszenario in keinem Land im nationalen Alleingang umgesetzt werden kann. Die

Auswirkungen unterschiedlicher Energiepolitiken auf die Preis- und Mengenentwicklung basieren auf den Grundlagen der IEA (WEO 2010).

Mit der Einbettung des Szenarios NEP in eine internationale Harmonisierung vor allem über das Instrument CO₂-Preis der Energiepolitik, ist sichergestellt, dass für die Schweizer Wirtschaft keine komparativen Nachteile entstehen.

Annahmen und Quellen:

- **Internationaler Erdölpreis:** Die Preise für Erdöl folgen den Preisentwicklungen des World Energy Outlook 2010 der Internationalen Energieagentur (IEA). Für die Szenarien „Weiter wie bisher“ und „Massnahmen Bundesrat“ kommt die Preisentwicklung des IEA-Szenarios „New Policy“ zur Anwendung, im Szenario „Neue Energiepolitik“ die Preisentwicklung des Szenarios „450 Szenario“. Für die Preisentwicklungen von 2035 bis 2050 werden moderate Fortschreibungen gemacht (Prognos 2012, S. 69).
- **CO₂-Preis aus ETS:** Die Preise im ETS stützen sich auf die gleichen Grundlagen wie die Annahmen für den internationalen Erdölpreis (Prognos 2012, S. 69).
- **Inländische Energiepreise:** Die inländischen Energiepreise werden auf der Basis der Weltmarktpreise unter Berücksichtigung der Wechselkursveränderungen, allfälligen Verarbeitungskosten, von Steuern und der CO₂-Abgabe ermittelt (Prognos 2012, S. 70).
- **Inländische Strompreise:** Die Strompreise werden auf der Basis der betriebswirtschaftlichen Gesteungskosten des gesamten Kraftwerksparks und der Netzkosten berechnet (Prognos 2012, Abschnitt 3.3). Der Strompreis für den Endkonsum steigt von 23,6 auf 28,8 Rp./kWh (POM) resp. 33,6 Rp./kWh (NEP).

Die kurz- und zum Teil auch mittelfristige Energienachfrage ist extrem preisunelastisch und von zahlreichen anderen Treibern dominiert (siehe dazu auch die jährlich aktualisierten Ex-Post Analysen).

Zudem gilt es zu beachten, dass die Energiekosten nur in sehr wenigen Bereichen einen signifikanten Anteil an den gesamten Ausgaben und Kosten ausmachen. Im Weiteren hängt der Energieverbrauch eines Akteurs, einer Akteursgruppe zu einem gegebenen Zeitpunkt vor allem von „nichtenergetischen Gegebenheiten“ ab (wie z.B. Pendeldistanzen, vorhandener Wohnfläche, Industriebranche). Auch gilt in Erwägung zu ziehen, dass die Energie in der Regel durch den Einsatz dauerhafter Güter wie Geräte/Fahrzeuge/Installationen verbraucht wird. Anpassungen an Preisveränderungen sind deshalb mittel- bis langfristig möglich, beispielsweise im Rahmen einer energetischen Gebäudesanierung oder einer Anschaffung eines effizienteren Fahrzeugs. Die Investitionsentscheidungen hängen oft in nachrangiger Priorität von den Energiekosten ab (in erster Priorität spielen andere Faktoren eine Rolle, wie z.B. die Grösse eines Kühlschranks, die Marke und Grösse eines Bildschirms oder bestimmte Eigenschaften einer Produktionsanlage).

Die Energiepreise, die dem Szenario WWB zugrunde liegen, tragen - neben den unterstellten energiepolitischen Rahmenbedingungen sowie den übergeordneten Entwicklungsdeterminanten und weiteren Trends - zu den in diesem Szenario eingesetzten durchschnittlichen spezifischen Energieverbräuchen, sowie den eingesetzten Energieträgern bei. Letzteres gilt insbesondere für die wenigen energieintensiven Branchen, in denen auch kurzfristig preisbedingte Energieträgersubstitutionen möglich sind.

6 Literaturangaben

Ecoplan 2012	Energiestrategie 2050 - volkswirtschaftliche Auswirkungen, Schlussbericht vom 12.09.2012.
Prognos 2012	Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 - Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 - 2050, Bericht vom 12.09.2012.
Prognos 2013	Energieperspektiven 2050: Sensitivitätsanalysen Photovoltaik, Bericht vom 30.04.2013.
Consentec, 2012a	Einfluss verschiedener Stromangebotsvarianten auf die Netzinfrastruktur der Schweiz.
Consentec, 2012b	Auswirkungen eines verstärkten Ausbaus der dezentralen Erzeugung auf die Schweizer Verteilnetze.
IEA, 2010	World Energy Outlook, Paris.
EURELECTRIC, 2010	Power Choices, Pathways to Carbon-Neutral Electricity in Europe by 2050 - Full Report, Brüssel.