

energy [r]evolution

EINE NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNG FÜR DIE SCHWEIZ



GWEC
GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL

EREC
EUROPEAN RENEWABLE
ENERGY COUNCIL

GREENPEACE

«will we look into the eyes of our children and confess

that we had the **opportunity**,
but lacked the **courage**?
that we had the **technology**,
but lacked the **vision**?»

J.F. Kennedy



**Greenpeace International,
Greenpeace Schweiz**

Datum November 2013

**Projektmanager und
Hauptautor Greenpeace
International** Sven Teske

**Projektleitung und Autor
Greenpeace Schweiz**
Georg Klingler Heiligtag

**Modellierung und
wissenschaftliche Expertise**
Institut für Technische
Thermodynamik, Abt. Systemanalyse
und Technikbewertung Deutsches
Zentrum für Luft- und Raumfahrt
(DLR), Dr. Thomas Pregger,
Dr. Sonja Simon, Dr. Tobias Naegler,
Marlene O'Sullivan

Partner



© NICOLAS FOUTU / GREENPEACE

Verkehr: DLR Institut für Fahrzeugkonzepte:
Dr. Stephan Schmid, Johannes Pagenkopf, Benjamin Frieske
Effizienz: Universität Utrecht,
Holland: Wina Graus,
Katerina Kermeli

Beschäftigung: Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney: Jay Rutovitz, Steve Harris
Netztechnologie: energynautics GmbH, Langen/Germany; Dr. Thomas Ackermann, Rena Ruwahata, Nils Martensen

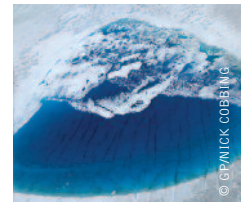
Design & Layout
onehemisphere, Sweden,
www.onehemisphere.se

Kontakte
georg.klingler@greenpeace.org
sven.teske@greenpeace.org

Für weitere Informationen zu globalen, regionalen und länderspezifischen Szenarien, besuchen Sie bitte die Energy [R]evolution Homepage:
www.energyblueprint.info

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	6	5 Inländische Investitionen, neue Jobs und bezahlbare Energiepreise	58
Zusammenfassung	8	5.1 Investitionen und Gestehekungskosten der Stromerzeugung	59
1 Das einzige Szenario für echten Klimaschutz	14	5.2 Künftige Investitionen im Wärmesektor	60
1.1 Das verbleibende Klimagas-Budget ist begrenzt	15	5.3 Arbeitsplätze für die Zukunft	61
1.2 Der Beitrag der Schweiz	15	6 Ausblick: Jetzt die Weichen richtig stellen!	63
1.3 Klimaziele in den Gesamtenergieszzenarien von Bund und anderen Institutionen	17	7 Glossar und Anhang	65
2 Zielvorgaben, Handlungsansätze und Rahmensetzungen	18	7.1 Glossar	66
2.1 Zielvorgaben	19	7.2 Sektor-Definition	66
2.2 Handlungsansätze	19	7.3 Berechnungsannahmen	67
2.3 Rahmensetzungen und Annahmen	20	7.3.1 Bevölkerungsentwicklung	67
3 Resultate: Eine echte Energiewende für die Schweiz	23	7.3.2 Wirtschaftswachstum	67
3.1 Entwicklung der Endenergienachfrage in den Bereichen Elektrizität, Wärme und Verkehr	24	7.3.3 Öl- und Gaspreisprognosen	67
3.2 Die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung	27	7.3.4 Zukünftige Kosten von CO ₂ -Emissionen	67
3.3 Versorgungssicherheit im Stromversorgungssystem von morgen	29	7.3.5 Kostenprognosen für regenerative Energietechnologien	68
3.4 Die Entwicklung der Wärmeversorgung	33	7.3.6 Photovoltaik	69
3.5 Die Entwicklung im Verkehrsbereich	35	7.3.7 Windenergie	69
3.6 Entwicklung der CO₂-Emissionen	36	7.3.8 Biomasse	69
3.7 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs	38	7.3.9 Geothermie	70
4 Die Energy [R]evolution verändert die Energieversorgungsstrukturen	39	7.3.10 Wasserkraft	70
4.1 Die Energiezukunft ist dezentral und vernetzt	40	7.3.11 Kostenprognosen für regenerative Heiz- und Kühltechnologien	70
4.1.1 Dezentrale Strukturen für die Energiewende	40	7.4 Methodik zur Berechnung der Beschäftigungswirkung	71
4.1.2 Dezentrale Strukturen vermeiden Übertragungsverluste	41	7.4.1 Übersicht	71
4.1.3 Intelligente Vernetzung für die Energiewende	41	7.4.2 Einschränkungen	72
4.2 Sind Kapazitätsmärkte eine Lösung im veränderten Strommarkt?	46	7.4.3 Arbeitsplatzfaktoren	72
4.3 Die Energiewende verändert den Verkehrssektor	48	7.4.4 Handel mit Steinkohle, Erdgas und erneuerbaren Technologien	74
4.4 Fallstudie: Deutschland mitten in der Energiewende	50	7.4.5 Anpassung an Lernraten – Rückgangsfaktoren	74
4.5 Das E[R]-Szenario im Vergleich mit anderen Szenarien und der Realität	54		
4.5.1 Entwicklung der globalen Wind- und Photovoltaikbranche	54		



Verzeichnis der Abbildungen

1	1.1	Vergleich von Klimagas-Emissionspfaden verschiedener Ländergruppen für «Weiter wie bisher» (BAU) und einen Vorschlag für die Lastenverteilung	16	4.15	Photovoltaik: Szenarien im Vergleich mit der realen Entwicklung	55	
3	3.1	Endenergienachfrage nach Sektoren – die Bundesszenarien POM und NEP im Vergleich mit dem E[R]-Szenario	24	4.16	Photovoltaik: Szenarien im Vergleich mit der Realität in der Schweiz	56	
	3.2	Verlauf der Elektrizitätsnachfrage im E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz	25	4.17	Photovoltaik Stromgestehungskosten: Szenarien im Vergleich mit der Realität in der Schweiz	57	
	3.3	Verlauf der Wärmenachfrage in den Sektoren im E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz	26	5.1	Investitionen in den Umbau der Stromversorgung bis 2050 – Referenzszenario vs. Energie-[R]evolution	59	
	3.4	Verlauf der Endenergiefrage nach Verkehrsträgern für das E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz	26	5	5.2	Entwicklung der jährlichen Kosten der Stromversorgung und der spezifischen Stromerzeugungskosten in den beiden Szenarien POM und E[R]	60
	3.5	Entwicklung der Stromproduktion – die beiden Bundesszenarien POM und NEP (beide Angebotsvarianten C&E) im Vergleich mit dem E[R]-Szenario	27	5.3	Entwicklung der Investitionen in regenerative Heiztechnologien in den beiden Szenarien	61	
	3.6	Das Konzept des Produktes proWindgas	28	5.4	Beschäftigungsentwicklung im Energiesektor in den beiden Szenarien	62	
	3.7	Stromproduktion im Jahresverlauf 2050 mit dem Strommix des E[R]-Szenarios	30				
	3.8	Stromkonsum (inkl. Pumpspeicher und Exporte) im Jahresverlauf 2050, hochgerechnet auf Basis der realen Verbraucherdaten des Jahres 2010	30				
	3.9	Stromproduktion in einer Sommerwoche des Jahres 2050 in Stundenauflösung	31				
	3.10	Stromproduktion in einer Winterwoche im Jahr 2050 in Stundenauflösung	32				
	3.11	Füllstand der Saisonalspeicherseen im Stromszenario der Energy-[R]evolution	33	1	1.1	Absenkung der CO ₂ -Emissionen in verschiedenen Gesamtenergieszenarien für die Schweiz	17
	3.12	Entwicklung der Wärmeversorgung – die beiden Bundesszenarien POM und NEP im Vergleich mit der Energy [R]evolution	34	3	3.1	Entwicklung der Stromerzeugungs-Kapazitäten erneuerbarer Energien im Referenz- und im Energy Revolution Szenario	27
	3.13	Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor nach Energieträgern	35		3.2	Zur Simulationen der Versorgung im Jahr 2050 wurden folgende Parameter verwendet	29
	3.14	Entwicklung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen nach Sektoren	36		3.3	Entwicklung der Wärmeversorgung im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario	34
	3.15	Vergleich der Entwicklung der energiebedingten CO ₂ -Emissionen (ohne internationalen Flugverkehr) in acht Gesamtenergieszenarien für die Schweiz	37		3.4	Entwicklung der Energienachfrage im Verkehrssektor nach Verkehrsträgern im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario	36
	3.16	Entwicklung des inländischen Primärenergie-Einsatzes nach Energieträgern	38	5	5.1	Installierte Leistung zur regenerativen Wärmezeugung in den Szenarien POM und E[R]	60
4	4.1	Die dezentrale Energiezukunft	40		5.2	Beschäftigungsentwicklung im Energiesektor in den beiden Szenarien	62
	4.2	Ein Stromsystem mit zentralen Grosskraftwerken verschwendet zwei Drittel des Inputs	41	7	7.1	Konversionsfaktoren für fossile Energieträger	66
	4.3	Grundlastkraftwerke behindern den Fortschritt	42		7.2	Prognose der Bevölkerungsentwicklung für die Schweiz	67
	4.4	Smart-Grid Vision für die Energy [R]evolution	44		7.3	Prognosen der BIP-Entwicklung für die Schweiz	67
	4.5	Der Endenergieverbrauch der verschiedenen Transportarten im E[R]-Szenario	48		7.4	Annahmen über die Entwicklung der CO ₂ -Emissionskosten im europäischen Markt	67
	4.6	Gegenüberstellung von Endenergie-, Elektrizitätsverbrauch und CO ₂ -Emissionen im Verkehrssektor 2010 bis 2050	49		7.5	Prognosen für die Preisentwicklung von fossilen Brennstoffen und Biomasse in € 2010	68
	4.7	Bestandesgewichtete Energieintensität für den Personenverkehr 2010 und 2050	49		7.6	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Photovoltaikanlagen	69
	4.8	Durchschnittliche bestandesgewichtete Energieintensität für den Güterverkehr 2010 und 2050	49		7.7	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Windkraftwerken	69
	4.9	Endenergie-Anteile der Antriebstechnologien bis 2050 im E[R]-Szenario	50		7.8	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Biomasse Kraftwerken	69
	4.10	Atomausstieg in Deutschland	50		7.9	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Geothermiekraftwerken	70
	4.11	Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energieträger 2002–2012 und Zielsetzungen für 2020 bei der Energieversorgung Deutschlands	51		7.10	Überblick über die zu erwartende Entwicklung der Investitions-, der Betriebs- und der Wartungskosten bei Heiztechnologien in Europa	70
	4.12	Zusammensetzung der Stromproduktion in Deutschland 2002–2012	52		7.11	Berechnung von Arbeitsplätzen in der Energieversorgung: Überblick	72
	4.13	Pro-Kopf-Zubau und Preisentwicklung der Photovoltaik in Deutschland und im Bundesland Bayern im Vergleich zum Ausbau in der Schweiz	53		7.12	Arbeitsplatzfaktoren in der Analyse der Schweiz 2012	73
	4.14	Windkraft: Szenarien im Vergleich mit der realen Entwicklung	54		7.13	Rückgangsfaktoren bei den Technologiekosten	74
					7.14-7.29	Schweiz: Szenariogrundlagen	76

Verzeichnis der Tabellen

1	1.1	Absenkung der CO ₂ -Emissionen in verschiedenen Gesamtenergieszenarien für die Schweiz	17
3	3.1	Entwicklung der Stromerzeugungs-Kapazitäten erneuerbarer Energien im Referenz- und im Energy Revolution Szenario	27
	3.2	Zur Simulationen der Versorgung im Jahr 2050 wurden folgende Parameter verwendet	29
	3.3	Entwicklung der Wärmeversorgung im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario	34
	3.4	Entwicklung der Energienachfrage im Verkehrssektor nach Verkehrsträgern im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario	36
5	5.1	Installierte Leistung zur regenerativen Wärmezeugung in den Szenarien POM und E[R]	60
	5.2	Beschäftigungsentwicklung im Energiesektor in den beiden Szenarien	62
7	7.1	Konversionsfaktoren für fossile Energieträger	66
	7.2	Prognose der Bevölkerungsentwicklung für die Schweiz	67
	7.3	Prognosen der BIP-Entwicklung für die Schweiz	67
	7.4	Annahmen über die Entwicklung der CO ₂ -Emissionskosten im europäischen Markt	67
	7.5	Prognosen für die Preisentwicklung von fossilen Brennstoffen und Biomasse in € 2010	68
	7.6	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Photovoltaikanlagen	69
	7.7	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Windkraftwerken	69
	7.8	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Biomasse Kraftwerken	69
	7.9	Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Geothermiekraftwerken	70
	7.10	Überblick über die zu erwartende Entwicklung der Investitions-, der Betriebs- und der Wartungskosten bei Heiztechnologien in Europa	70
	7.11	Berechnung von Arbeitsplätzen in der Energieversorgung: Überblick	72
	7.12	Arbeitsplatzfaktoren in der Analyse der Schweiz 2012	73
	7.13	Rückgangsfaktoren bei den Technologiekosten	74
	7.14-7.29	Schweiz: Szenariogrundlagen	76

Einleitung

«DIE TAGE DES GEDANKENLOSEN KONSUMS SIND VORBEI. DER KLIMAWANDEL ZEIGT UNS, DASS DAS ALTE MODELL ÜBERHOLT IST.»
(UNO GENERALSEKRETÄR BAN KI-MOON, 2011, ÜBERSETZUNG GREENPEACE).



bild EINBAU EINES LAUFRADS IM FLUSSKRAFTWERK RHEINFELDEN, DAS SEIT 2010 STROM FÜR 42'000 HAUSHALTE LIEFERT, IM FLUSSKRAFTWERK RHEINFELDEN. INSGESAMT PRODUZIERT DAS KRAFTWERK STROM FÜR RUND 170 000 HAUSHALTE JÄHRLICH.

Das Gesamtenergieszzenario von Greenpeace, die Energy [R]evolution für die Schweiz, kommt in einer Zeit des Umbruchs. Seit der Atomkatastrophe von Fukushima im März 2011 wird die Energiepolitik der Schweiz neu geschrieben und viele Institutionen haben ihre Meinungen und Zahlen dazu publiziert. Unter den Ersten haben die Schweizer Umweltorganisationen Greenpeace, Pro Natura, Schweizerische Energiestiftung SES, VCS und WWF im Mai 2011 gemeinsam ein Szenario für einen schnellen Atomausstieg bis 2025 vorgelegt. Viele weitere Berechnungen folgten – praktisch alle mit einer AKW-Laufzeit von 50 oder gar mehr Jahren: ein Schwindel erregend langer Zeitraum, wenn man bedenkt, dass die Schweizer Atomkraftwerke in den 60er und 70er Jahren für eine Laufzeit von nur 30 Jahren gebaut wurden. Aus Überlegungen des Risikomanagements ist die baldstmögliche Abschaltung also zwingend. Die Energy [R]evolution zeigt, wie die sicherheitsmässig notwendige Beschränkung auf 40 Jahre Laufzeit umsetzbar ist – und dass sie finanzierbar ist.

Der fortschreitende Klimawandel zeigt immer deutlicher, dass das ganze Energiesystem umgebaut werden muss.

Die Klimaerwärmung wird von Experten aus Wissenschaft, Wirtschaft, Zivilgesellschaft und Politik als dasjenige Umweltrisiko identifiziert, welches in den kommenden Jahrzehnten die gravierendsten Folgewirkungen für die Menschheit haben wird.¹ Schon heute lassen sich diese überall in der Welt feststellen – auch in der Schweiz: Weil in den vergangenen 50 Jahren die Sommer rund 2,5°C und die Winter rund 1,5°C wärmer geworden sind², schmelzen die Gletscher und der Permafrost taut auf. Gefährliche Massenbewegungen in den Alpen nehmen zu und der Wasserkreislauf wird unberechenbarer. Schweizer Klimaforscher haben gezeigt, dass wir in Europa in etwa 70 Jahren jedes zweite Jahr mit einer Hitzewelle in der Dimension von 2003 rechnen müssen, falls die Klimaerwärmung nicht eingedämmt wird.³ Dieser Extremsommer gilt als eine der schlimmsten Naturkatastrophen in der Geschichte Europas und kostete den Kontinent gemäss neuen Forschungsergebnissen 70 000 Menschenleben mehr als ein gewöhnlicher Sommer.⁴

referenz

- 1 WEF BERICHT «GLOBALE RISIKEN 2013»: [HTTP://REPORTS.WEFORUM.ORG/GLOBAL-RISKS-2013/](http://reports.weforum.org/global-risks-2013/)
- 2 BERICHT DES BAFU 2013: KLIMAÄNDERUNG IN DER SCHWEIZ – INDIKATOREN ZU URSACHEN, AUSWIRKUNGEN, MASSNAHMEN: [HTTP://WWW.BAFU.ADMIN.CH/PUBLIKATIONEN/PUBLIKATION/01709/INDEX.HTML?LANG=DE \(SEITE 31 FF.\)](http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/01709/index.html?lang=de)
- 3 BERICHT VON OCC UND PROCLIM 2007: «KLIMAÄNDERUNG UND DIE SCHWEIZ 2050»: [HTTP://PROCLIMWEB.SCNAT.CH/PORTAL/RESSOURCES/291.PDF](http://proclimweb.scnat.ch/portal/ressources/291.pdf)
- 4 REPORT ON EXCESS MORTALITY IN EUROPE DURING SUMMER 2003, 28.2.2007, EU COMMUNITY ACTION PROGRAMME FOR PUBLIC HEALTH: [HTTP://EC.EUROPA.EU/HEALTH/PH_PROJECTS/2005/ACTION1/DOCS/ACTION1_2005_A2_15_EN.PDF](http://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf)



Eine Gesamtenergiestrategie muss Lösungen sowohl für den Atomausstieg als auch für die wirksame Bekämpfung der Klimaveränderung liefern.

Die im fünften Sachstandsbericht des Weltklimarats im September 2013 präsentierten Zahlen zeigen, dass für die Einhaltung der kritischen Zwei-Grad-Grenze die CO₂-Emissionen weltweit bis ins Jahr 2070 auf null gesenkt werden müssen. Vor diesem Hintergrund erfüllt aus Sicht von Greenpeace keines der seit Fukushima publizierten Gesamtenergieszenerarien für die Schweiz die Klimaschutzanforderungen. Die Energy [R]evolution greift den neusten Wissensstand auf und beschreibt eine Energiewende, mit welcher die Schweiz das AKW-Sicherheitsrisiko bis 2025 auf null reduzieren und bis 2050 die CO₂-Emissionen um 96% im Vergleich zu 1990 absenken kann.

Eine konsequente Energiewende ist Herausforderung und Chance zugleich.

Mit einer Umstellung auf erneuerbare Energien und Einsparungen durch erhöhte Effizienz wird die Schweiz praktisch unabhängig von fossilen Energieimporten. Damit schützt sie sich nicht nur gegen Preisschocks, sondern trägt auch zur Reduktion der weltweiten Konflikte und Umweltschäden bei, die im Rennen um die immer knapper werdende Ressourcen in Kauf genommen werden. Einzigartige Ökosysteme wie die Arktis, zugänglich geworden wegen des viel zu schnell schmelzenden Eises, wecken neue, für die Umwelt und den Schutz des Klimas sehr gefährliche Begehrlichkeiten – obwohl schon heute klar ist, dass mindestens zwei Drittel der ausgewiesenen Reserven fossiler Rohstoffe unter dem Boden bleiben müssen, wenn wir eine Zukunft ohne verheerende Klimakatastrophen sichern möchten. Eine konsequente Energiewende braucht diese Ressourcen nicht und eine darauf ausgerichtete Klima(aussen)politik schützt die Errungenschaften der Schweizer Volkswirtschaft genauso wie jene der Entwicklungszusammenarbeit.

Im Inland eröffnen die dezentrale Produktion einheimischer Energie und die damit verbundenen Geschäftsfelder neue Perspektiven für das Gewerbe und die Wertschöpfung in Randregionen: Die Energiewende wird gegenüber einem «Weiter wie bisher» unvergleichlich mehr Arbeitsplätze sowie längerfristig bezahlbare Energiekosten sichern.⁵ Dezentrale Anlagen verbreitern die volkswirtschaftliche Bedeutung des Energieversorgungssektors:⁶ Hunderttausende Bürgerinnen und Bürger tragen zur Landesversorgung bei, Landwirte werden zu Energiewirten, Fachleute aus dem Bau- und Haustechniksektor zu Spezialisten für energetische Sanierungen.

Eine konsequente Energiewende wird zudem die externen Kosten reduzieren – wenn zum Beispiel der fossile Individualverkehr in den Schweizer Städten abnimmt –, was uns weniger Luftverschmutzung und mehr Ruhe beschert.

Die Frage nach der Energiezukunft ist eine Schicksalsfrage – für alle Gesellschaften.

Die Schweizer Energiewende ist aber auch eine Aufforderung, den ständig wachsenden Hunger nach Energie und den unbedachten Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten zu hinterfragen. Mit der Energy [R]evolution präsentiert Greenpeace nicht nur einen Weg in eine erneuerbare und langfristig sichere Energieversorgung. Sie soll auch unser eindringliches Bekenntnis zur Verantwortung gegenüber unseren Nachkommen und ein Beitrag zur globalen Gerechtigkeit sein.

Sven Teske
CLIMATE & ENERGY UNIT
GREENPEACE INTERNATIONAL

Georg Klingler
CLIMATE & ENERGY CAMPAIGN
GREENPEACE SCHWEIZ

Steve Sawyer
SECRETARY GENERAL
GLOBAL WIND ENERGY
COUNCIL (GWEC)

Josche Muth
PRESIDENT
EUROPEAN RENEWABLE
ENERGY COUNCIL (EREC)

NOVEMBER 2013

referenz

- 5 VGL. KAPITEL 5 UND DIE STUDIE «VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DER SCHWEIZ», DIE VON RUND 85 000 ARBEITSPLÄTZEN BIS 2035 AUSGEHT: [HTTP://WWW.ENERGIESTIFTUNG.CH/FILES/TEXTDATEIEN/ENERGIETHEMEN/ENERGIEPOLITIK/SES_ARBEITSPLAETZE_WEB_DEF.PDF](http://www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energiethemen/energiepolitik/ses_arbeitsplaetze_web_def.pdf)
- 6 BERICHT DES BFE 2013: «VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DER SCHWEIZ»: [HTTP://WWW.NEWS.ADMIN.CH/NSBSUBSCRIBER/MESSAGE/ATTACHMENTS/29634.PDF](http://www.news.admin.ch/nsbsubscriber/message/attachments/29634.pdf)

Zusammenfassung

«ERKENNTNISSE GEWINNEN WIR NICHT, WENN WIR UNS AUF ALTEN EINGEFAHRENE PFADE BEWEGEN. ERKENNTNISSE GEWINNEN WIR, WENN WIR UNS DEM NEUEN, DEM UNBEKANNTEN STELLEN.» (DORIS LEUTHARD, 2013)

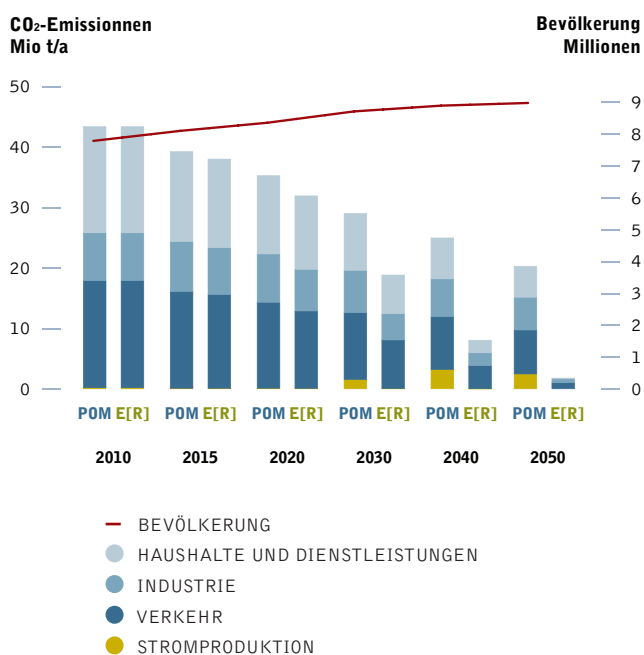


bild MONTAGE DER DAMALS GRÖSSTEN PHOTOVOLTAIK AUF-DACH-ABLAGE IN WOHLER AG MIT FREIWILLIGEN VON GREENPEACE.

Die Schweizer Energieversorgung ist im Umbruch. Mit den nun beginnenden politischen Beratungen zur Energiestrategie 2050 werden die Gesetzestexte neu geschrieben. Die Messlatte für Zielsetzungen, Rahmenbedingungen und Massnahmen bilden Szenarien, von denen es in der Schweiz schon eine ganze Reihe gibt. Doch keines der bisherigen Schweizer Energieszenarien war ambitioniert genug, um das weltweit anerkannte Klimaschutzziel von maximal 2°C globaler Erwärmung erreichen zu können.

Mit dem Greenpeace-Gesamtenergieszenario «Energy [R]evolution» E[R], das von **unabhängigen Experten** der Systemanalyse-Gruppe am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) erarbeitet wurde, füllen wir diese Lücke und zeigen, dass eine sichere, **atomstrom- und nahezu CO₂-freie Energieversorgung** möglich und erschwinglich ist. Im E[R]-Szenario haben die Atomkraftwerke eine Laufzeitbeschränkung von 40 Jahren. Die drei ältesten Reaktoren der Schweiz müssen aus sicherheitstechnischen Gründen sofort vom Netz und 2024 wird mit Leibstadt das letzte AKW abgestellt. **Gleichzeitig sinken die CO₂-Emissionen mit -96% gegenüber 1990 deutlich stärker als im Referenzszenario des Bundes «Politische Massnahmen» (POM).**

Abbildung 0.1: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen nach Sektoren





Die Schweizer Energy [R]evolution ist eingebettet in ein gesamteuropäisches und ein globales Szenario.⁷ Damit zeigen wir lokal wie auch global, auf welche Weise eine Energieversorgung mit kleinstmöglichen Atom- und Klimarisiken aufgebaut werden kann, und zwar ohne die Exploration zusätzlicher fossiler Quellen wie zum Beispiel bei den gefährlichen Ölbohrungen im sensiblen Ökosystem der Arktis.

Der Umbau der Energieversorgung ist für Greenpeace nicht nur eine sorgfältige Szenariorechnung, sondern auch eine Aufforderung, den ständig wachsenden Hunger nach Energie und den unbedachten Umgang mit den Ressourcen unseres Planeten zu hinterfragen. Deswegen zeigen wir als weiteren Vergleich eine **Szenario-Variante «Suffizienz»**. Darin wird der Einfluss einer Stabilisierung der Wohnflächen und der Verkehrsleistungen auf dem Niveau von 2010 ausgewiesen. Bezüglich der CO₂-Absenkung tragen Suffizienzbemühungen dazu bei, dass in der Summe der Jahre 2010–2050 rund 40 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen zusätzlich eingespart werden.

Energienachfrage: Dank Effizienz deutlich weniger

Wie in den meisten Energieszenarien geht die Energienachfrage im E[R]-Szenario insgesamt zurück, weil es unter anderem davon ausgeht, dass die riesigen Effizienzpotenziale erschlossen werden. Die Entwicklung ist deutlich ambitionierter als im Referenzszenario POM des Bundes. Sie liegt aber recht nahe beim ambitioniertesten Bundesszenario NEP («Neue Energiepolitik»), das wie die E[R] ein Zielszenario ist.

In der **Szenario-Variante «Suffizienz»** geht der Endenergiebedarf bis 2050 im Vergleich zur E[R] um zusätzliche 11% auf rund 400 PJ/a zurück. Die Elektrizitätsnachfrage sinkt um weitere 8,6 PJ/a und der Wärmebedarf um weitere 60 PJ/a oder 26% bis 2050. Die Stabilisierung der Verkehrsleistungen auf dem Niveau von 2010 hat einen zusätzlichen Verbrauchsrückgang von 5% oder 5 PJ/a im Jahr 2050 zur Folge. Der Rückgang ist hier so gering, weil die Verkehrsleistungen schon im Standardszenario fast auf dem Niveau von 2010 stabilisiert werden. Eine Stabilisierung der Verkehrsleistungen zum Beispiel beim Umfang des Jahres 2000 hätte eine fast dreifach höhere Wirkung.

Tabelle 0.1: Entwicklung der Endenergienachfrage

SZENARIO		2010	2020		2050		2050		% (2050/2010)	
		BASIS	POM	E[R]	POM	E[R]	POM	E[R]	POM	E[R]
Endenergienachfrage gesamt	PJ/a	859	779	740	649	552	575	447	70%	52%
<i>Haushalte und Dienstleistungen</i>		441	391	375	334	286	298	244	68%	55%
<i>Industrie</i>		165	334	158	141	123	127	103	77%	62%
<i>Verkehr</i>		253	224	207	174	143	150	100	59%	40%
Endenergie Elektrizität*	PJ/a	215	212	212	212	210	223	215	103%	100%
<i>Haushalte und Dienstleistungen</i>		134	135	126	131	116	138	113	103%	84%
<i>Industrie</i>		69	66	65	57	55	54	48	78%	70%
<i>Verkehr</i>		11	14	19	24	39	32	54	291%	490%
Endenergie Wärme**	PJ/a	402	385	339	316	238	259	186	64%	53%
<i>Haushalte und Dienstleistungen</i>		307	257	249	203	170	161	131	52%	43%
<i>Industrie</i>		96	98	91	84	68	73	55	76%	57%

*inkl. Elektrizität für Wärmepumpen und Direktheizungen

**ohne Elektrizität

Energieversorgung: Dezentral erneuerbar und versorgungssicher

Das vorgegebene Klimaziel ist einer der Gründe, warum die Elektrizitätsversorgung im E[R]-Szenario eine zentrale Rolle spielt. Die Verbreitung von Wärmepumpen und Elektromotoren sowie die elektrische Herstellung von Wasserstoff, der anstelle von fossilen Energieträgern in energieintensiver Industrie und im Schwerverkehr benötigt wird, machen die Elektrizität zum wichtigsten Energieträger. Dass der Elektrizitätsverbrauch dennoch stabil bleibt, ist der konsequenten Erschliessung des riesigen, heute praktisch ungenutzten Effizienzpotenzials zu verdanken.

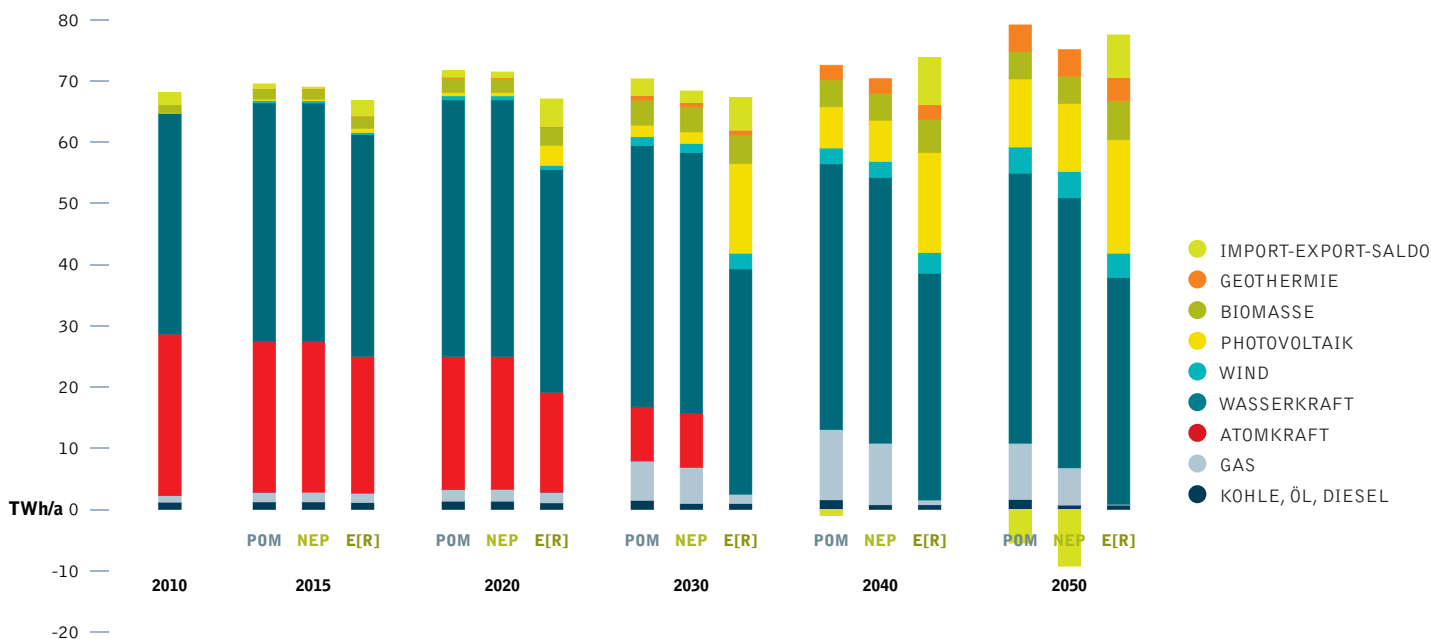
Die **Elektrizitätsproduktion** der E[R] basiert auf dem von den grossen Umweltorganisationen der Schweiz gemeinsam vorgeschlagenen «100PRO»-Strommix⁸, einem möglichst natur- und landschaftsschonenden Mix erneuerbarer Energien. Der

schnelle Ausstieg aus der Atomenergie, der schnelle Zuwachs der Photovoltaik, der Verzicht auf Erdgas, die Zulassung von geringen Netto-Importen und der Verzicht auf einen starken Ausbau der Wasserkraft fallen im Szenariovergleich besonders auf. Die Nutzung von Biomasse und Wind basiert auf ökologischen Potenzialen und einem 400-Windkraftanlagen-Vorschlag der Umweltschutzorganisationen.⁹ Die Nutzung der Geothermie ist dieselbe wie in den Bundesszenarien.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion steigt von 56,7% im Jahr 2010 auf über 95% im Jahr 2025 und auf rund 98% im Jahr 2050. Die Stromnachfrage wird schon 2030 zu 100% mit erneuerbaren Energien gedeckt.

Stundengenaue Modellierungen mit realen Wetterdaten zeigen, dass der vorgeschlagene E[R]-Strommix die Versorgung im Sommer und im Winter rund um die Uhr sicherstellen kann.

Abbildung 0.4: Entwicklung der Stromproduktion – die beiden Bundesszenarien POM und NEP (beide Angebotsvariante C&E¹⁰) im Vergleich mit dem E[R]-Szenario



quelle EIGENE BERECHNUNGEN UND PROGNOSE 2012, ANHANG III, S. 31 UND 43.

referenz

⁸ [WWW.UMWELTALLIANZ.CH/STROMZUKUNFT](http://www.umweltallianz.ch/stromzukunft)

⁹ VGL. FAKTENBLATT WINDENERGIE:

[HTTP://WWW.UMWELTALLIANZ.CH/FILEADMIN/USER_UPLOAD/STROMMIX/FAKTENBLATT_WINDENERGIE.PDF](http://www.umweltallianz.ch/fileadmin/user_upload/strommix/faktenblatt_windenergie.pdf)

¹⁰ IN DEN SZENARIEN DES BUNDES WERDEN VERSCHIEDENE STROMANGEBOTS-VARIANTEN UNTERSUCHT. C STEHT FÜR «FOSSIL ZENTRAL» UND E FÜR «ERNEUERBARE ENERGIEN».



Die Stundensimulationen zeigen, dass im Sommer ohne zusätzliche Speicher nicht verwertbare Stromüberschüsse anfallen, selbst wenn die Pumpspeicherleistung auf 5 GW ausgebaut wird.¹¹ Ohne weitere Speicher müssten die Pumpspeicherwerke im Sommer am Tag mit voller Leistung Solarstrom aufnehmen und diesen in der Nacht wieder verkaufen, weil sonst die Unterbecken nach wenigen Tagen leer sind. Damit es nicht so weit kommt, schlagen wir eine Alternative vor. Für rund 2–4 GW Überschussleistung kommen Speicher zum Einsatz, die tagsüber anfallende Strommengen für Nicht-Strom-Anwendungen verfügbar machen oder längere Zeit speichern. Im E[R]-Szenario wird mit den Überschüssen im Elektrolyseverfahren **Wasserstoff produziert (Power to Gas)**.¹² Dieser Wasserstoff, der in synthetisches Methan weiterverarbeitet werden kann, wird nur zu einem geringen Anteil rückverstromt, weil er aufgrund der Klimaziele dort gebraucht wird, wo eine Substitution von fossilen Energieträgern mit Elektrizität nur begrenzt möglich ist, wie zum Beispiel im Schwerverkehr und in der energieintensive Industrie.¹³

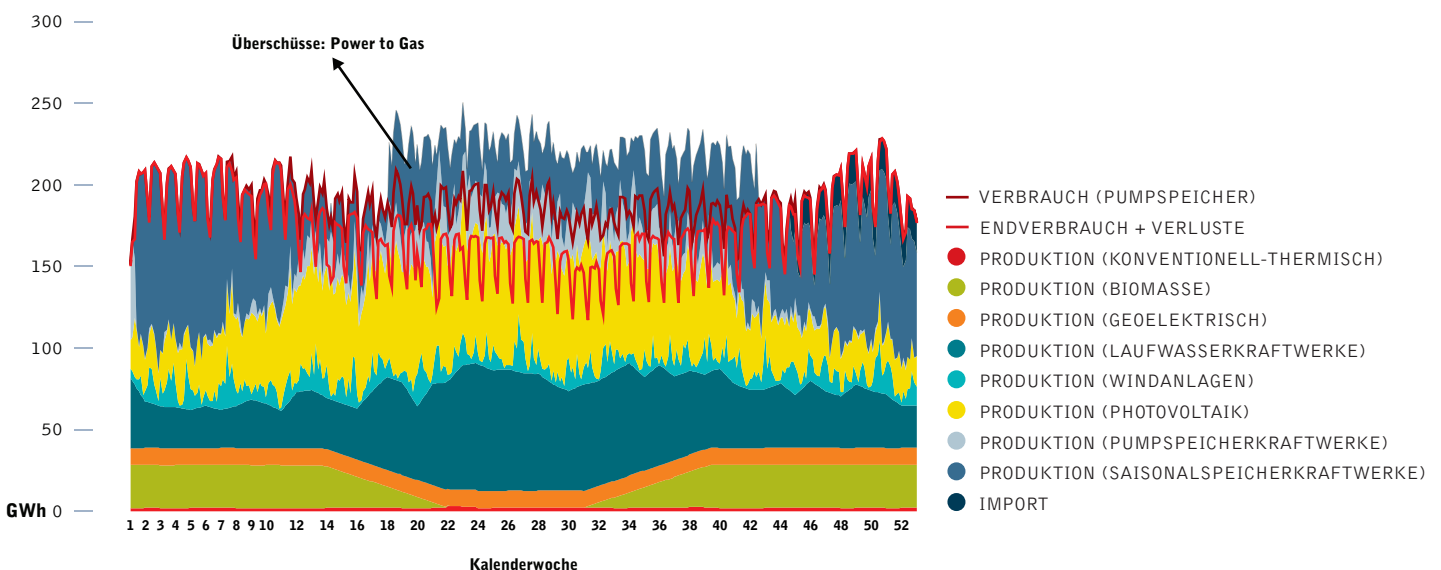
Die **Wärmeversorgung**, die heute zu knapp 75% auf fossilen Energien beruht, muss für das Erreichen der Klimaziele fossilfrei werden. Erneuerbare Energien (inkl. des Erneuerbaren-Anteils der im Wärmebereich eingesetzten Elektrizität) decken 2010 rund 21% des Wärmebedarfs in der Schweiz, wobei einheimisches Holz den grössten Beitrag leistet. Im E[R]-Szenario wird der Wärmebedarf stark verringert, zugleich steigt der Erneuerbaren-Anteil auf 44% im Jahr 2025, auf 66% im Jahr 2035 und auf 97% im Jahr 2050. Die Nutzung von Erdwärme (53%) und Solarthermie (17%) spielt die Hauptrolle: 2050 decken sie zusammen rund 70% des verbleibenden Wärmebedarfs. Dafür ist der Ausbau von regionalen Fernwärmenetzen und Grossspeichern wichtig. Beim Ausbau der

Fernwärmenetze sind Effizienzanstrengungen bei Gebäuden von Beginn weg zu berücksichtigen, da sie den Wärmebedarf verringern und damit die Dimensionierung der Fernwärmenetze beeinflussen. Der verbleibende nicht erneuerbare Anteil stammt zum Teil aus der Abfallverwertung und zum Teil aus einem kleinen Rest fossiler Energien.

Die **Endenergieversorgung des Verkehrs** ist im Jahr 2050 zu 54% vom Strom dominiert. Der Stromverbrauch des Verkehrs wächst von heute 11 PJ/a auf rund 54 PJ/a, was im Jahr 2050 rund 25% des Strombedarfs entspricht. Neben der Stabilisierung der Verkehrsleistungen und der Veränderung der Mobilität in Richtung ressourceneffiziente Fortbewegungsarten (Fuss- und Veloverkehr, elektrifizierte Kleinvehikel und kollektive Verkehrsmittel), bringen hocheffiziente Antriebe mit Hybrid-, Plug-in-Hybrid- und batterieelektrischen Systemen beim motorisierten Individualverkehr mittelfristig erhebliche Effizienzgewinne.

Die Strategie der Energy [R]evolution verschiebt den Anteil der Transportarten zugunsten des öffentlichen Verkehrs, aber dennoch verbleibt der Hauptanteil beim individuellen Strassenverkehr. Dieser ist 2050 noch für 59% des Energieverbrauchs verantwortlich (2010: 76%). Um die Klimaziele trotzdem einhalten zu können, muss sich der Mix an Strassenfahrzeugen stark ändern: Der Anteil von mit Diesel oder Benzin betriebenen Fahrzeugen wird von praktisch 100% im Jahr 2010 auf weniger als 2.5% im Jahr 2050 abnehmen. An ihre Stelle werden Fahrzeuge mit Biogas- oder Biodieselantrieb (17%), reine Elektrofahrzeuge (28%), Fahrzeuge mit Hybridantrieb (39%) und Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb (14%) treten. Statt Wasserstoff kann auch synthetisches Methan zum Einsatz kommen.

Abbildung 0.3: Stromproduktion im Jahresverlauf 2050 mit dem Strommix des E[R]-Szenarios, gerechnet mit realen Wetterdaten des Jahres 2010 (TAGESAUFLÖSUNG)



quelle ENERGIEMODELL SCS.

referenz

- 11 DAS ENTSpricht DEN HEUTE IN BAU UND PLANUNG BEFINDLICHEN WERKEN, DIE VON DEN UMWELTORGANISATIONEN AKZEPTIERT WERDEN.
- 12 WEIL DIE DAFÜR EINGESETZTEN ELEKTROLYSEURE EINEN MÖGLICHST AUSGEGLICHENEN BETRIEB MIT 4000 VOLLASTSTUNDEN BENÖTIGEN, WIRD AUCH EIN TEIL DER IMPORTE DAFÜR VERWENDET.
- 13 IM JAHR 2050 WERDEN 0,7 TWh RÜCKVERSTROMT, WAS 1% DER STROMPRODUKTION ENTSpricht.
- 14 IN DER ENERGY [R]EVOLUTION WERDEN NUR NACHHALTIGE BIOMASSE-RESSOURCEN GENUTZT, D.H. PRIMÄR ABFALLBIOMASSE UND ENERGIEHOLZ AUS NACHHALTIG BEWIRTSCHAFTETEN WÄLDERN.

Umbau der Energieversorgungsstrukturen: Dezentral, vernetzt, realistisch

Die Umsetzung der E[R] braucht **dezentral vernetzte und intelligent gesteuerte Versorgungsstrukturen**. Eine Netzstruktur für die Verbindung von dezentralen erneuerbaren Produktionsanlagen mit smarten Verteilnetzen erlaubt ein zeitnahes Einspeise- und Lastmanagement und unterstützt den Einbezug des Verkehrs. Die CO₂-intensive Stromproduktion in Europa wird über einen funktionierenden CO₂-Markt heruntergefahren und Anreize aus dem Strommarkt ermöglichen eine optimale Ausrichtung der erneuerbaren Kapazitäten sowie den optimalen Einsatz von Speichern.

Das **Fallbeispiel Deutschland**, wo der Ausbau der Photovoltaik und der Windkraft viel weiter fortgeschritten ist als in der Schweiz, dient einerseits als Lehrbeispiel für das Setzen von Rahmenbedingungen, andererseits können wir von den aktuellen Problemen in Deutschland lernen. Die Kostenfrage erreicht in der Schweiz nie ein ähnliches Ausmass, weil die Preise für die Photovoltaik seit Beginn der deutschen Förderung um mehr als den Faktor 4 gesunken sind und wir mit einem komfortablen Wasserkraftanteil von knapp 60% ins Rennen gehen.

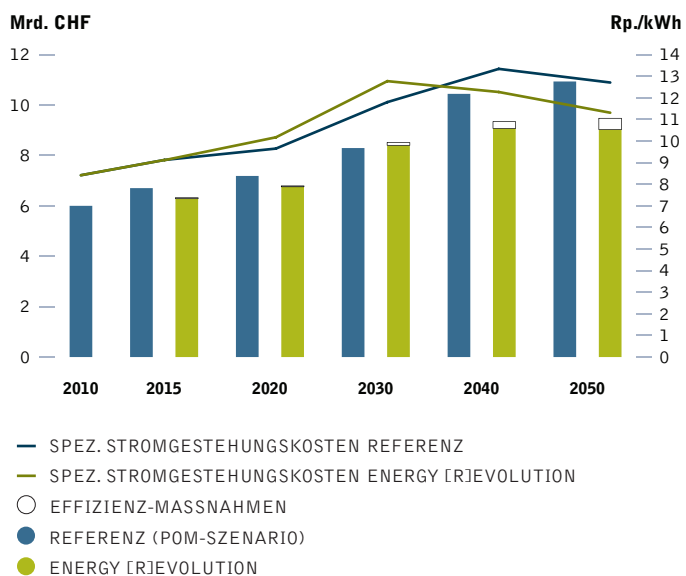
Dass der Umbau der Energieversorgung gelingen kann, zeigt letztlich ein **Szenarienvergleich** von vergangenen E[R]-Szenarien mit solchen der Internationalen Energieagentur (IEA) und der realen Entwicklung: Die Realität hat selbst die kühnsten Ausbauziele der vergangenen E[R]-Szenarien übertroffen, von den konservativen IEA-Schätzungen ganz zu schweigen.

Wirtschaftlichkeit: Investitionen mit Nutzen und Jobs

Der Umbau der Energieversorgung für die E[R] erfordert Mehrinvestitionen im Vergleich zum Referenzszenario POM. Da erneuerbare Energien Kraftwerke geringe Unterhalts- und Betriebskosten und oft keine Brennstoffkosten ausweisen, sind die jährlichen Kosten der Stromproduktion bei der E[R] tiefer als im Referenzszenario des Bundes. Insgesamt zahlen sich die Mehrinvestitionen daher aus, wie die folgende Abbildung exemplarisch für die Stromproduktion zeigt.

Der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien im Inland wird zudem zu neuen Arbeitsplätzen in der Grössenordnung von 11 900 bis 2020 und 6600 Vollzeitäquivalenten im Zeitraum bis 2030. Werden indirekte Jobs sowie jene Jobs hinzugerechnet, die im Energieeffizienzsektor entstehen, können zusätzliche Jobs in der Grössenordnung von 80 000 bis 100 000 bis 2030 führen.

Abbildung 0.4: Entwicklung der jährlichen Kosten der Stromversorgung und der spezifischen Stromerzeugungskosten in den beiden Szenarien POM und E[R]





Jetzt die Weichen stellen

Wir können und müssen jetzt die Weichen für ein Energiesystem stellen, das noch vielen Generationen von Nutzen sein wird. Dazu gehören aus unserer Sicht folgende zentrale Elemente:

1. Die Festlegung von **ambitionierten, gerechten und bindenden Klimazielen**: -30% bis -40% bis 2020, -55% bis 2030 und -95% bis 2050 (im vgl. zu 1990) gemäss den neusten Erkenntnissen des Weltklimarats IPCC.
2. Die sicherheitstechnisch begründete **Festlegung von maximalen Laufzeiten für die Atomkraftwerke auf 40 Jahre**. Damit wird auch Planungs- und Investitionssicherheit für den Umbau der Stromversorgung geschaffen.
3. Die **Abschaffung aller direkten und indirekten staatlichen Unterstützungen für konventionelle Energien**. Aus einer erweiterten Perspektive gehören dazu auch die Streichung der Standortvergünstigungen sowie die Einführung von Unternehmensrichtlinien für Schweizer Firmen, die irgendwo auf der Welt am Abbau von Rohstoffen beteiligt sind.
4. Ein **Verbot von Exploration und Förderung fossiler Energien** in der Schweiz.
5. Die Festlegung von ambitionierten **Mindesteffizienz- und Mindest-CO₂-Standards** für Bauten, Fahrzeuge und Geräte.
6. Die Einführung eines umfassenden, den Zielsetzungen angepassten Abgabensystems: **CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe, Strom- oder Energielenkungsabgabe** für die Erschliessung der brachliegenden Effizienzpotenziale. Solche Abgaben sollen in eine ökologische Steuerreform überführt werden.
7. Die Schaffung eines gesetzlichen Rahmens mit **verpflichtenden Effizienzzielen für Energieversorger**, die aktiv zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen müssen.
8. Die **Optimierung der kostendeckenden Einspeisevergütung**: Förderung von Projekten mit hoher Qualität und Aufhebung der Deckelung für Photovoltaikanlagen auf bestehenden Infrastrukturen. Die Schweizer Energiewende soll verwirklicht werden, ohne die bestehende Gewässer-, Natur- und Heimatschutzgesetzgebung aufzuweichen.
9. Die verstärkte **Forschung für die Sicherstellung einer 100% erneuerbaren und klimaschonenden Energieversorgung**. Dabei sollen wichtigen Aspekte des gesellschaftlichen Wandels, der mit dem Umbau der Energieversorgung verbunden ist, einbezogen werden.

Damit wir als Gesellschaft auch im Bereich der Suffizienz Schritte unternehmen können, sind mittelfristig sämtliche Anreize für nicht suffizientes Verhalten zu beseitigen. Als Beispiele seien der kontinuierliche Ausbau von Strassen, grosszügige Neueinzonungen von Bauland auf der grünen Wiese, der deutlich zu billige Flugverkehr und die Überschreitung von Luftschutzgrenzwerten ohne Folgen für die Verursacher genannt.

Mit dem Paket des Bundesrats zur Energiestrategie 2050 liegen viele Massnahmen auf dem Tisch. Viele zeigen in die richtige Richtung, sie genügen aber noch nicht, um die Ziele zu erreichen, und verlangsamen die Energiewende, vorab im Bereich Energieeffizienz und beim Zubau von Solarstromanlagen. Andere Massnahmen schlagen unnötige Konzessionen im Bereich der Wasserkraft und der fossilen Stromerzeugung vor. Beides ist nicht nötig. Eine CO₂-Abgabenbefreiung für die fossile Stromproduktion würde eine Klimapolitik torpedieren, die das 2-Grad-Erwärmungsziel einhalten will.

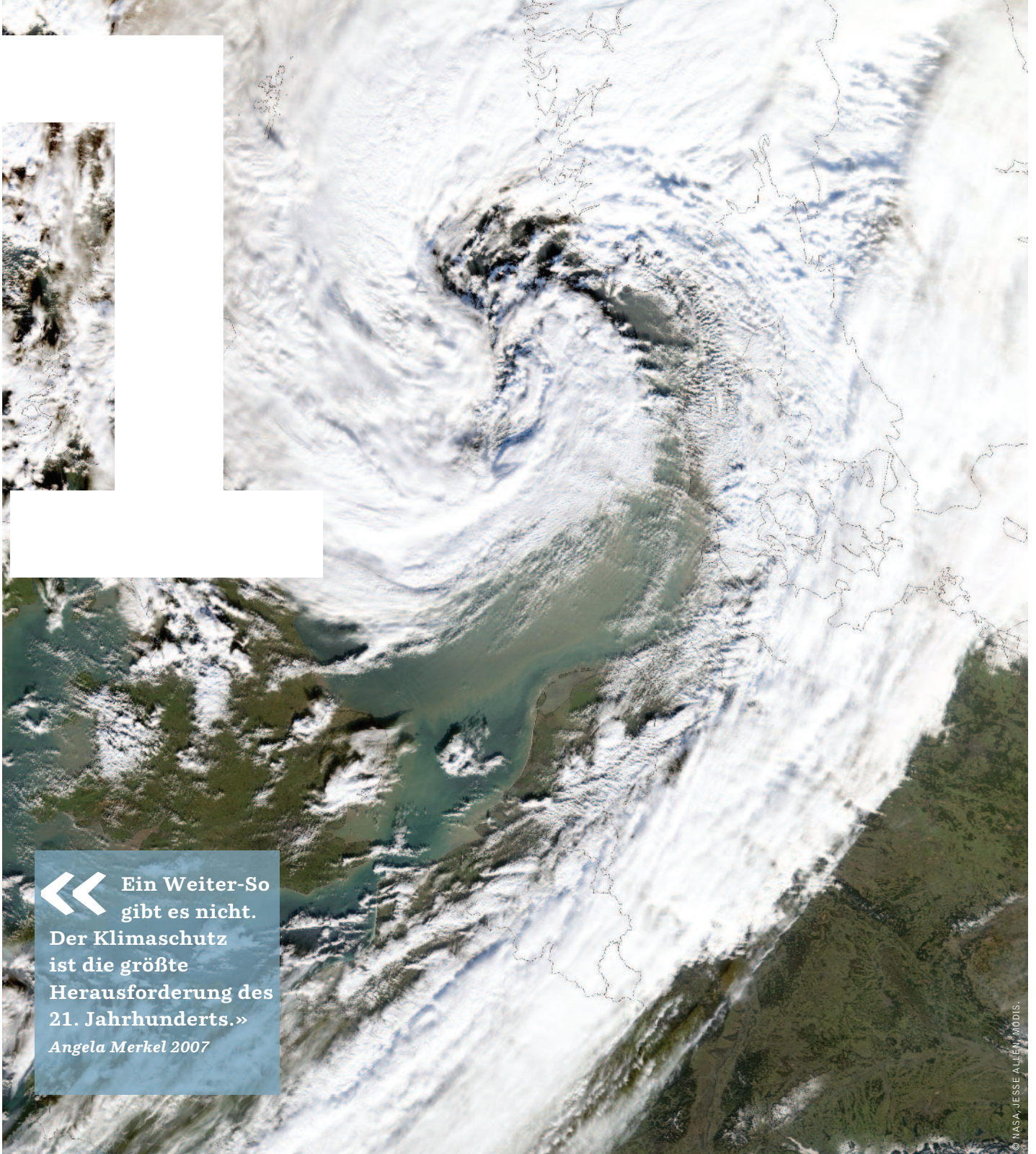
Die Verschiebung wichtiger Massnahmen in eine zweite Phase, wie dies der Bundesrat vorschlägt, ist nicht zielführend. Massnahmen, die sofort umgesetzt werden können, sind auch sofort anzugehen, allein schon wegen der Dringlichkeit des Klimaschutzes und der je länger, je höheren Anpassungskosten an den Klimawandel. Die zügige Umsetzung ist volkswirtschaftlich sinnvoll und eine Investition in eine lebenswerte Zukunft.

Das einzige Szenario für echten Klimaschutz

DAS VERBLEIBENDE KLIMAGAS-
BUDGET IST BEGRENZT

DER BEITRAG DER SCHWEIZ

KLIMAZIELE IN DEN
GESAMTENERGIESZENARIOEN VON
BUND UND ANDEREN
INSTITUTIONEN



Ein Weiter-So
gibt es nicht.
Der Klimaschutz
ist die größte
Herausforderung des
21. Jahrhunderts.»
Angela Merkel 2007

bild DIE WOLKEN ÜBER NORDEUROPA HABEN DIE FORM EINES TIEFS, WELCHES MIT BEDROHLICHEN WINTERSTÜRMEIN IN VERBINDUNG GEBRACHT WIRD.



Im Januar 2013 gab das World Economic Forum die achte Jahresausgabe des Berichts «Globale Risiken» heraus, der auf Einschätzungen von mehr als tausend führenden Persönlichkeiten aus Politik, Wirtschaft, Forschung und Zivilgesellschaft basiert. Der Klimawandel wird als drittgrösstes globales Risiko eingestuft und ist dasjenige Umweltrisiko, welches in den Augen der Experten schon im kommenden Jahrzehnt die gravierendsten Folgen haben wird.¹⁵

Der im September 2013 publizierte erste Teil des fünften Sachstandsberichts des Weltklimarats stellt unmissverständlich fest, dass wir uns inmitten einer vom Menschen gemachten Klimaerwärmung befinden. Der Weg zur Begrenzung von negativen Folgen ist klar: Es braucht eine drastische Reduktion von CO₂-Emissionen und anderen Klimagasen. Wie stark die Reduktion ausfallen soll, basiert auf einer politischen Entscheidung: 194 Mitgliedstaaten der UN-Klimarahmenkonvention, darunter auch die Schweiz, haben sich darauf geeinigt, dass die Klimaerwärmung auf maximal 2°C gegenüber vorindustriellen Werten begrenzt werden soll.

1.1 Das verbleibende Klimagas-Budget ist begrenzt

Die Wissenschaftler des Weltklimarats haben im fünften Sachstandsbericht erstmals eine Quantifizierung des für die Einhaltung des 2-Grad-Ziels verbleibenden Emissionsbudgets präsentiert. Die Modellrechnungen zeigen, dass die kumulierten CO₂-Emissionen seit Beginn der Industrialisierung (1861-1880) ein Gesamtbudget von 1000 Milliarden Tonnen Kohlenstoff nicht überschreiten dürfen, wenn die Klimaerwärmung mit einer 66%igen Wahrscheinlichkeit auf nicht mehr als 2°C begrenzt werden soll. Wird der Effekt von anderen Klimagasen wie z.B. Methan mitberücksichtigt, dann sinkt dieses **Gesamtbudget auf 790 Milliarden Tonnen Kohlenstoff**. Soll die Wahrscheinlichkeit, die 2-Grad-Grenze einhalten zu können, erhöht werden, wird das noch zur Verfügung stehende Gesamtbudget entsprechend kleiner.

Da vom Beginn der Industrialisierung bis Ende 2011 rund 515 Milliarden Tonnen Kohlenstoff in die Atmosphäre entlassen worden sind, verbleiben noch rund 275 Milliarden Tonnen. Das entspricht CO₂-Emissionen von rund 1009 Milliarden Tonnen CO₂.¹⁶

Zwei Drittel des gesamten globalen Klimagas-Budgets sind schon aufgebraucht.

Der durchschnittliche globale Kohlenstoffausstoss betrug im Mittel der Jahre 2002 bis 2011 rund 8,3 Milliarden Tonnen pro Jahr und lag 2011 mit 9,5 Milliarden Tonnen 54% über dem Niveau von 1990 (Referenzjahr). Eine Stabilisierung der Emissionen auf dem heutigen Niveau würde dazu führen, dass das weltweite Budget in etwa 30 Jahren aufgebraucht ist. Wenn der Trend hin zu steigenden Emissionen anhält, ist das Budget rascher aufgebraucht. **Um die Chance für das Erreichen des 2-Grad-Ziels intakt zu halten, müssen die Klimagasemissionen vor dem Jahr 2020 ihre Spitze erreichen und dann rapide abnehmen.**

Kasten 1.1: Carbon Bubble

Mitte Oktober 2013 hat Al Gore in einem Fernsehinterview¹⁷ den Klimawandel als das grösste Risiko für die internationalen Finanzmärkte bezeichnet. Die internationalen Ölfirmen werden mit rund 7 Trillionen Dollar bewertet, was auf der Annahme basiert, dass alle ausgewiesenen fossilen Reserven gefördert und verbrannt werden können.

Wenn aber das 2-Grad-Ziel erreicht werden soll, können von allen ausgewiesenen Reserven, welche insgesamt zu rund 2795 Milliarden Tonnen CO₂-Emissionen¹⁸ führen würden, maximal ein Drittel verbrannt werden. Wird mehr verbrannt, setzen wir die Zukunft unseres Planeten aufs Spiel. Folglich rät Al Gore sowohl institutionellen als auch privaten Anlegern, fossile Ressourcen strikt zu meiden.

1.2 Der Beitrag der Schweiz

Wie stark die Absenkung der CO₂-Emissionen innerhalb der Landesgrenzen ausfallen soll, ist eine zentrale Annahme für jedes Gesamtenergieszenario. Viele Experten sind sich einig, dass unser Energiesystem einen kompletten Umbau innerhalb einer Dekade benötigt, wenn wir die schlimmsten Folgen des Klimawandels abwenden wollen.¹⁹

Wie viel des verbleibenden globalen Emissionsbudgets steht nun der Schweiz zu? Wie auch immer man die Aufteilung vornimmt: Wenn mit 66% Wahrscheinlichkeit die Einhaltung des 2-Grad-Ziels angestrebt wird, müssen die Emissionen gemäss dem Emissionspfad aus dem fünften Sachstandsbericht weltweit etwa im Jahr 2070 auf null sinken. Wenn nun die verbleibenden Emissionen global gerecht verteilt werden sollen, dann müssen reiche Länder wie die Schweiz den Grossteil der kommenden Reduktionen leisten.

Wie viele Emissionen bei einer gerechten Verteilung insgesamt eingespart werden müssen, kann anhand eines gängigen Ansatzes aus den Klimaverhandlungen berechnet werden. Dieser postuliert, dass ab 1990 – dem ungefähren Zeitpunkt der Erkenntnis der negativen Folgen des Klimawandels – alle Menschen Anrecht auf den gleichen Anteil des verbleibenden Emissionsbudgets haben. In einer Studie für das Bundesamt für Umwelt BAFU im Jahr 2012 wurde ein solcher Absenkungspfad untersucht.²⁰ Die Modellrechnungen zeigen, dass Länder wie die Schweiz die Klimagasemissionen bis 2050 insgesamt sogar um mehr als 100% absenken müssten (siehe die ausgezogene grüne Linie in Abbildung 1.1).²¹ Der Zeitpunkt für die Null-Emissions-Marke liegt in diesem Szenario zwischen 2030 und 2040.

referenz

¹⁵ WEF BERICHT «GLOBALE RISIKEN 2013»: [HTTP://REPORTS.WEFORUM.ORG/GLOBAL-RISKS-2013/](http://reports.weforum.org/global-risks-2013/)

¹⁶ 1 TONNE KOHLENSTOFF ENTSPRICHT RUND 3,67 TONNEN CO₂.

¹⁷ [HTTP://FINANCE.YAHOO.COM/BLOGS/DAILY-TICKER/AL-GORE-CARBON-BUBBLE-GOING-BURST-AVOID-OIL-121707563.HTML](http://finance.yahoo.com/blogs/daily-ticker/al-gore-carbon-bubble-going-burst-avoid-oil-121707563.html)

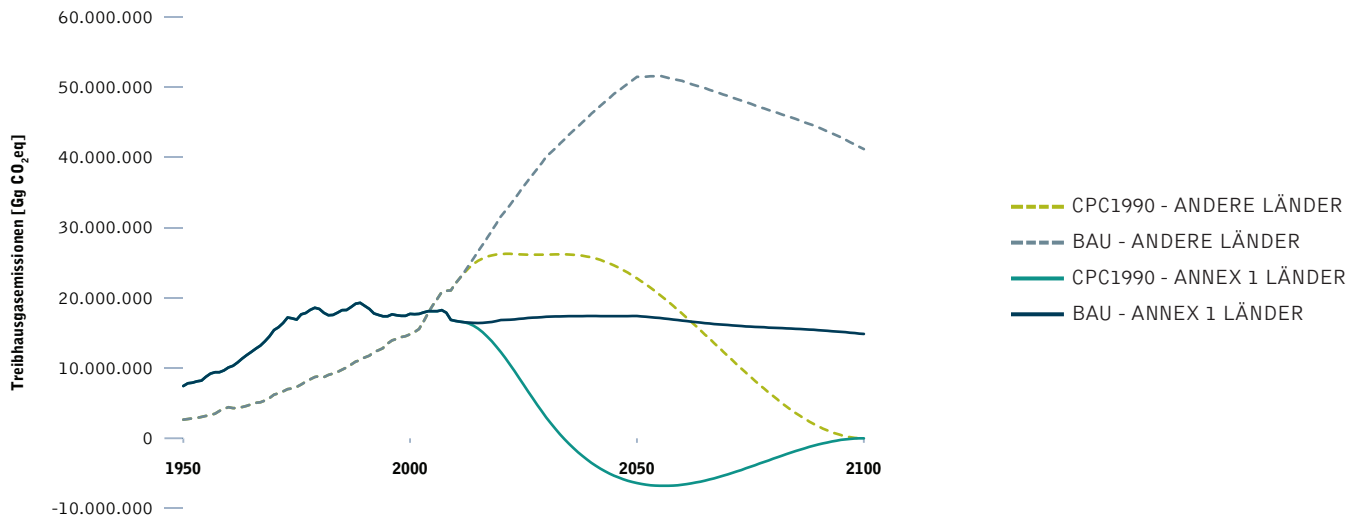
¹⁸ [HTTP://MATH.350.ORG/](http://math.350.org/)

¹⁹ IPCC – SPECIAL REPORT RENEWABLES, KAP. 1, MAI 2011.

²⁰ BAFU-BERICHT: «EMISSION PATHWAYS TO REACH 2°C TARGET»: [HTTP://WWW.IAC.ETHZ.CH/PEOPLE/KNUTTI/R/PAPERS/INF12.PDF](http://www.iac.ethz.ch/people/knutti/r/papers/inf12.pdf)

²¹ GEWISSE GERECHTIGKEITSTHEORIEN GEHEN WEITER UND FORDERN, DASS DER REICHTUM UND DIE DAMIT VERBUNDENEN MÖGLICHKEITEN DER SCHWEIZ BEI DER BERECHNUNG DES GERECHTEN BEITRAGS BERÜCKSICHTIGT WERDEN MÜSSEN.

Abbildung 1.1: Vergleich von Klimagas-Emissionspfaden verschiedener Ländergruppen für «Weiter wie bisher» (BAU) und einen Vorschlag für die Lastenverteilung (CPC1990 = GLEICHE PRO-KOPF-EMISSIONEN AB 1990)



quelle INFRAS UND IAC ETH ZÜRICH 2012.²⁰

Daraus leiten wir folgende Prämissen für die Energy [R]evolution und die Reduktion der CO₂-Emissionen ab:

- 1. Bis 2050 mindestens –95% gegenüber Stand 1990 im Inland, zusätzliche CO₂-Reduktion im Ausland:** Da die Kosten zum Erreichen von null Emissionen im Inland mit zunehmender Senkung stark steigen, sieht die Energy [R]evolution bis 2050 eine 96%-Absenkung im Inland gegenüber 1990 vor. Die Differenz zu den jeweiligen (höheren) Jahreszielsetzungen einer gerechten Aufteilung der Emissionen müssen zusätzlich im Ausland reduziert werden. Vor dem Hintergrund, dass Schäden des Klimawandels die Bemühungen der Entwicklungszusammenarbeit bedrohen, ist eine Verstärkung der Entwicklungszusammenarbeit für zusätzlichen Klimaschutz notwendig.
- 2. Eine schnelle Absenkung erhöht die Freiheitsgrade:** Je schneller die Emissionen gesenkt werden, desto mehr Spielraum bleibt für künftige Jahre und Generationen. Die Schweiz hat sich bisher verpflichtet, ihre Emissionen bis 2020 um 20% zu senken – vor dem Hintergrund des knappen CO₂-Budgets ist eine Erhöhung auf 40% notwendig.

So kann die Schweiz als Profiteurin der bisherigen CO₂-Emissionen ihren Beitrag leisten, damit das verbleibende Emissionsbudget wenigstens einigermaßen gerecht auf die Weltbevölkerung verteilt wird. Schweden hat sich zum Ziel gesetzt, bis 2050 null Emissionen zu erreichen. Dänemark hat bis 2020 eine Absenkung von 40% gegenüber 1990 auf dem Programm und möchte darüber hinaus –80 bis 95% bis 2050 erreichen. Konkret soll die gesamte Energieversorgung (inkl. Verkehr) bis 2050 zu 100% auf erneuerbaren Energien beruhen. Der Verbrauch von Heizöl und Kohle für Heizzwecke soll bis 2030 eliminiert werden, im Strombereich soll bis 2035 gänzlich auf Öl und Kohle verzichtet werden.²²

referenz

²² «THE DANISH CLIMATE POLICY PLAN TOWARDS A LOW CARBON SOCIETY»: [HTTP://WWW.KEBMIN.DK/SITES/KEBMIN.DK/FILES/CLIMATE-ENERGY-AND-BUILDING-POLICY/DENMARK/CLIMATE-POLICY-PLAN/DANISHCLIMATEPOLICYPLAN.PDF](http://www.kebmin.dk/sites/kebmin.dk/files/climate-energy-and-building-policy/denmark/climate-policy-plan/danishclimatepolicyplan.pdf)



1.3 Klimaziele in den Gesamtenergieszzenarien von Bund und anderen Institutionen

Die Szenarien, welche für die Energiezukunft der Schweiz nach Fukushima erstellt wurden, haben unterschiedliche Zielsetzungen in Bezug auf den Klimaschutz als Grundlage. Zu unserer Überraschung erreichen nur gerade zwei Szenarien eine Reduktion der CO₂-Emissionen von mehr als 80% im Vergleich zu 1990. Keines der Bundesszenarien der Energiestrategie 2050 erreicht diese Marke. Aus der Sicht von Greenpeace legt der Bundesrat damit Szenarien vor, die einer globalen 2-Grad-Politik nicht genügen. Eine 95%-Absenkung wird von keinem der bestehenden Schweizer Gesamtenergieszzenarien angestrebt. Die folgende Tabelle fasst die Werte von 7 Szenarien zusammen und vergleicht sie mit dem Energy-[R]evolution-Szenario.

Auch wenn die Schweiz mit ihrem Beitrag allein die Klimaänderung nicht stoppen kann, ist doch klar, dass wir von anderen Staaten nur dann effektive Massnahmen zur Bekämpfung der Klimaveränderung einfordern können, wenn wir als eines der reichsten Länder mit gutem Beispiel vorangehen und Wege aufzeigen, wie die Herausforderung zu meistern ist.

Tabelle 1.1: Absenkung der CO₂-Emissionen in verschiedenen Gesamtenergieszzenarien für die Schweiz

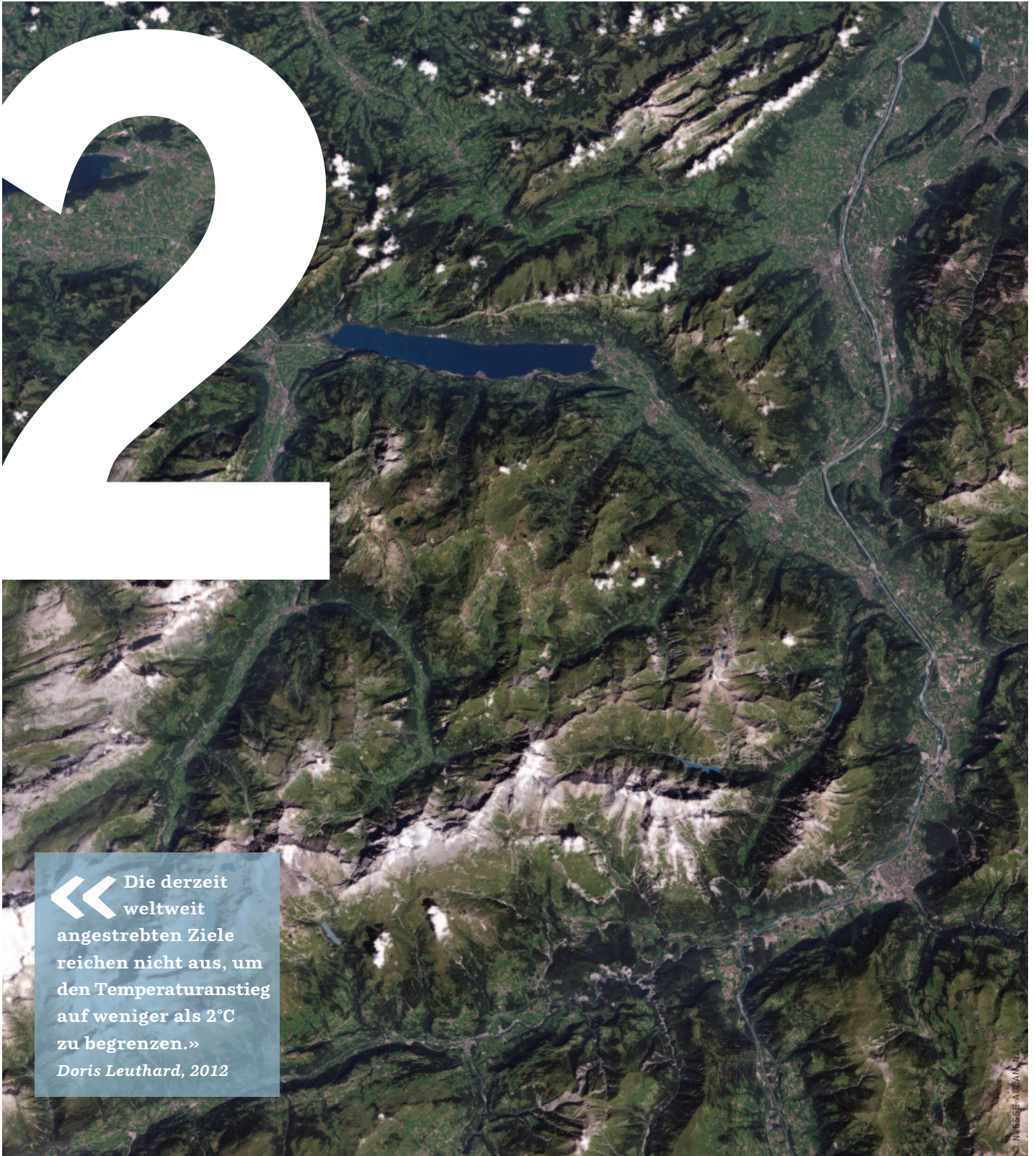
SZENARIO	ABSENKUNG CO ₂ -EMISSIONEN BIS 2050 GEGENÜBER 1990	EMISSIONS-BUDGET 2012 BIS 2050 (MIO. T)	TONNEN PRO KOPF IM JAHR 2050
Grüne 2012: «Kurswechsel»	84%	897	0,73
Grüne 2012: «Energiereform»	80%	925	0,94
Bund 2012: «Weiter wie Bisher»	37%	1267	2,88
Bund 2012: «Politische Massnahmen»	55%	1082	2,08
Bund 2012: «Neue Energiepolitik»	78%	846	1,03
Swisscleantech 2013: Energiestrategie v3.1	90%	819	0,43
ETH 2011: Energiezukunft	66%	1049	1,56
Greenpeace 2013: Energy [R]evolution Schweiz	96%	737	0,20

Zielvorgaben, Handlungsansätze und Rahmensetzungen

ZIELVORGABEN

HANDLUNGSANSÄTZE

RAHMENSETZUNGEN UND
ANNAHMEN



« Die derzeit weltweit angestrebten Ziele reichen nicht aus, um den Temperaturanstieg auf weniger als 2°C zu begrenzen.»
Doris Leuthard, 2012

bild DIE GLARNER ALPEN MIT SCHNEEBEDECKTEN GIPFELN, RHEINTAL UND WALENSEE.



Wenn man die Herausforderungen an das heutige Schweizer Energiesystem ernst nimmt, ist nichts anderes angezeigt als ein kompletter Umbau: Fossile und nukleare Energien müssen eliminiert werden. Dieser Umbau muss umgehend beginnen und in zehn Jahren bereits weit fortgeschritten sein. Ziel des Energy-[R]evolution-Szenarios ist es, einen gangbaren Weg für den geforderten Umbau des Energiesystems aufzuzeigen.

2.1 Zielvorgaben

Die aus den globalen und lokalen Herausforderungen abgeleiteten Zielvorgaben für die Energy-[R]evolution der Schweiz.

- 1. Rechtzeitiger Klimaschutz:** Das Energiesystem in den westlichen wohlhabenden Ländern muss CO₂-frei werden, wenn die Klimaerwärmung auf 2°C eingedämmt werden soll. Das Szenario der Energy [R]evolution für die Schweiz hat deswegen zum Ziel, die energiebedingten CO₂-Emissionen im Inland bis 2050 um 96% gegenüber 1990 zu senken. Damit liegen die CO₂-Emissionen des Energieverbrauchs in der Schweiz im Jahr 2050 bei 0,2 Tonnen pro Kopf. Insgesamt werden dann im E[R]-Szenario gerade noch 1,8 Millionen Tonnen CO₂ pro Jahr ausgestossen. Zum Vergleich: Im Jahr 2012 haben wir diese Menge in rund einem halben Monat in die Atmosphäre entlassen.
- 2. Schutz vor nuklearen Risiken:** Seit der Atomkatastrophe in Fukushima ist der Ausstieg aus der Atomenergie in der Schweiz zum politischen Programm geworden. Die Folgen des Unfalls zeigen klar, dass die Risiken der Atomkraft nicht beherrschbar sind: Menschen und Umwelt wurden mit Radioaktivität stark verseucht, die beschädigten Reaktoren sind auch drei Jahren danach noch nicht unter Kontrolle. Die Kosten des Unfalls werden auf mehr als 200 Milliarden Franken beziffert. Die Politik verstand den Atomausstieg bisher einzig als Verbot von neuen Reaktoren. Damit ist aber noch kein Atomausstieg beschlossen. Der Atomausstieg ist erst vollgezogen, wenn die bestehenden fünf Reaktoren stillgelegt sind. Angesichts des Alters unserer Atomkraftwerke – die Schweizer Reaktoren haben das älteste Durchschnittsalter der Welt – ist eine schnelle Stilllegung zwingend. Kommt es in der kleinräumigen und dicht besiedelten Schweiz zu einem Atomunfall, müssen wir einen grossen Teil des Landes aufgeben. Ein solches Risiko können und müssen wir uns nicht leisten. Deshalb soll die Abschaltung der laufenden Atomkraftwerke in einem klaren Fahrplan festgelegt werden. Für die Energy [R]evolution heisst das, dass nach einer Betriebsdauer von 40 Jahren Schluss ist. Ab 2024 wird die Stromversorgung ohne Atomkraftwerke sichergestellt.
- 3. Sichere Bereitstellung von Energie:** Die heute bestehenden Abhängigkeiten von Energieträgerimporten werden im E[R]-Szenario drastisch reduziert. Die Versorgungssicherheit im Gesamtenergiesystem steigt dadurch. Die fossilen Energieträger sowie der wegfallende Atomstrom werden durch Effizienz und erneuerbare Energien vollständig aufgewogen. Welchen Einfluss die Suffizienz spielen kann – also das Bemühen um einen möglichst geringen Ressourcenverbrauch –, wird ebenfalls untersucht. Die Steigerung der Stromeffizienz, der Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion, die intelligente Steuerung von

Nachfrage und Angebot sowie die Nutzung von Strom- und Wärmespeichern sorgen dafür, dass die Versorgungssicherheit im Strombereich jederzeit gewährleistet ist.

- 4. Dezentral, einheimisch und demokratisch:** Mit dem Umbau des Energiesystems werden Arbeitsplätze und Wertschöpfung in der Schweiz vor allem in ländlichen Regionen geschaffen. Die Energieproduktion wird statt von wenigen grossen Akteuren von hunderttausenden Menschen sichergestellt und damit wieder einer echten demokratischen Gestaltung zugänglich. An die Stelle des heutigen Fokus der Energieversorger auf zentrale Kraftwerke und eindimensionale Netze wird die optimale Einbindung vieler Produzenten in smarte Energienetze bzw. die intelligente Steuerung von Produktion und Nachfrage treten.

2.2 Handlungsansätze

Die vier Ziele können mit einer intelligenten Kombination von drei grundsätzlichen Handlungsansätzen erreicht werden: Effizienz, Konsistenz und Suffizienz.

- Mit **Effizienz** ist eine intelligente Energienutzung gemeint: Wir minimieren den Energiebedarf von Aktivitäten und Prozessen bei gleichbleibendem Nutzen durch den Einsatz von besseren Verfahren, Materialien und Technologien. Dies umfasst die Wärmedämmung der Gebäude, die Nutzung von verbrauchs- und emissionsärmeren Fahrzeugen, die Optimierung industrieller Prozesse sowie den Einsatz von sparsamen Geräten in Gewerbe, Dienstleistung und Haushalt.
- Mit **Konsistenz** ist eine nachhaltige Nutzung natürlicher Kreisläufe gemeint: Wir produzieren den Energiebedarf für unsere Aktivitäten und Prozesse mit erneuerbaren Primärenergien in dem Mass, wie sie von der Natur regeneriert werden. Dies umfasst die Produktion von Wärme und Strom mit Hilfe von Wasser-, Sonnen-, Wind-, Biomasse- sowie geothermischer Energie aus dem Untergrund.
- Mit **Suffizienz** ist eine Hinterfragung des Energieverbrauchs gemeint: Wir üben uns im Masshalten und nutzen Energie nur für Aktivitäten und Prozesse, die für das Wohlbefinden effektiv notwendig sind. Dies umfasst ein Hinterfragen bzw. eine Verringerung der wesentlichen Mengentreiber des Energieverbrauchs. Die immer grösser werdenden Wohnflächen, die wachsenden Personen- und Güterkilometer auf Strassen und Schienen, die zunehmende Zersiedelung, der wachsende Konsum sowie die zunehmende Anzahl Energie verbrauchender Geräte in allen Arbeits- und Lebensbereichen sind solche Mengentreiber.

Die beiden ersten Ansätze werden – wenn auch in unterschiedlichem Ausmass – in sämtlichen Energieszenarien des Bundes und weiterer Akteure für die Schweiz vorgeschlagen. Die Energy [R]evolution unterscheidet sich hier von anderen Szenarien, indem sie Zielsetzungen zur Erfüllung der wissenschaftlichen Anforderungen an den Klimaschutz und einen effektiven Schutz der Bevölkerung vor den Risiken der Atomkraft voraussetzt. Entsprechend schlagen wir eine ambitioniertere Effizienz- und Konsistenzstrategie vor. Zu Vergleichszwecken geht die Energy [R]evolution analog zu den anderen Szenarien von einer durch die Energiepolitik nicht direkt beeinflussten Entwicklung von wesentlichen Mengentreibern aus (Wohnflächen, Verkehrsleistungen, Wirtschaftswachstum). Diese

Mengentreiber werden vor allem durch die Wirtschaftsentwicklung und die Bevölkerungsentwicklung bestimmt.

Der **Suffizienz-Ansatz** wird in Energieszenarien noch nicht standardmässig eingerechnet, obwohl unbestritten ist, dass eine verantwortungsvolle Energiepolitik die absoluten Grenzen durch die Klimaerwärmung und die Beschränkung unseres Lebensraumes berücksichtigen sollte. In der Vergangenheit wurden Bemühungen um mehr Energieeffizienz weitestgehend durch das unkontrollierte Wachstum der wichtigsten Mengentreiber überkompensiert. Die Beispiele dafür sind vielfältig: Die Gebäude sind sehr viel effizienter geworden. Aber weil gleichzeitig die Wohnfläche pro Person gewachsen ist, stieg der Energieverbrauch. Die Fahrzeugmotoren sind effizienter geworden, weil aber schwerere Autos und mehr Kilometer gefahren werden, wuchs der Treibstoffverbrauch. Auch im Gerätebereich wird überkompensiert: Fernseher haben immer grössere Bildschirme, Kühl-, Gefrierschränke und Backöfen grössere Volumen und die Gerätedichte nimmt laufend zu, auch weil Zweit- und Drittgeräte im Einsatz sind.

Es ist unbestritten, dass neben technischen Lösungen auch Veränderungen in der Lebensführung – weniger Kilometer fahren, weniger tierische Produkte essen, bescheidener wohnen oder öffentliche statt private motorisierte Verkehrsmittel nutzen – ein gewaltiges Potenzial zur kostengünstigen Senkung von

Treibhausgasemissionen und anderen negativen Folgen des Energieverbrauchs enthalten. Solange aber die politischen Rahmensetzungen zielwidriges Verhalten belohnen, besteht wenig Anreiz für suffizientes Verhalten: Als Beispiele seien der Ausbau von Strassen, die Gewährung von Steuerabzügen für Pendler, die Subventionierung tierischer Produkte, grosszügige Neueinzonungen von Bauland oder die Überschreitung von Luftschutzgrenzwerten ohne Folgen für die Verursacher genannt.

Aus diesen Gründen wird in einer Szenario-Variante untersucht, welchen Beitrag eine Stabilisierung der Pro-Kopf-Wohnflächen sowie der jährlich zurückgelegten Personen- und Güterkilometer zur Zielerreichung beitragen kann. Für diese Variante geben wir die Standardannahme der meisten Energieszenarien auf, wonach die zentralen Mengentreiber des Energieverbrauchs von der Politik unbeeinflusst weiterwachsen, und eröffnen die Diskussion zum Thema «Wie viel ist eigentlich genug?».

2.3 Rahmensetzungen und Annahmen

Szenarien sind mögliche Entwicklungsverläufe und werden benötigt, um Entscheidungsträgern einen umfassenderen Überblick zu verschaffen und um die Gestaltungsmöglichkeiten künftiger Energiesysteme aufzuzeigen. Im vorliegenden Bericht wird anhand von zwei Szenarien gezeigt, wie weit das Schweizer Energiesystem umgebaut werden kann:

Kasten 2.1: Geschichte der Strom- und Energieszenarien der Schweizer Umweltorganisationen

Nachdem die Schweizer Bevölkerung im Jahr 2003 die Verlängerung des Atommoratoriums abgelehnt hatte, begann eine Debatte um den Bau neuer AKWs. Im Zuge dieser Diskussion präsentierten die Umweltverbände 2006 die «**Energieperspektive 2050 der Umweltorganisationen**». Darin zeigten sie auf, wie die Ziele der 2000-Watt Gesellschaft bis 2050 ohne neue Atom- und auch ohne neue Gaskraftwerke erreicht werden können. Der Hauptfokus der Betrachtungen lag auf den Energieverbrauchseinsparungen, die mit einer konsequenten Effizienzpolitik erreicht werden können. Weil eine konsequente Verwendung der 2004 verfügbaren Best-Technologie den Strombedarf massiv senken konnte, sah das damals vorgestellte Szenario einen sehr geringen Ausbau der neuen erneuerbaren Energien wie Sonne, Wind oder Biomasse vor. Das ist ein wesentlicher Unterschied zum Energy-[R]evolution-Szenario, in dem die Photovoltaik neben der Energieeffizienz eine wesentliche Rolle spielt. Für die Energy [R]evolution haben wir in einer mit den Bundesszenarien von 2012 vergleichbaren Weise gerechnet, aktuelle Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstumsprognosen verwendet und aufgrund des Klimaschutzes eine starke Substitution von fossilen Energien im Wärme- und im Mobilitätsbereich einbezogen. Dies führt dazu, dass im vorliegenden E[R]-Szenario die Produktion der AKWs nicht eingespart werden kann, sondern ersetzt werden muss.

Im Jahr 2008 folgte der **Klima-Masterplan**, der im Zuge der schleppenden Klimaverhandlungen und der Ausarbeitung des

CO₂-Gesetzes zeigte, welche Zielsetzungen und Massnahmen für einen effektiven Klimaschutz nötig sind. 40% Absenkung bis 2020 als Ziel und die Einführung einer CO₂-Abgabe auf sämtlichen fossilen Energieträgern als Massnahme waren die Hauptforderungen des Masterplans. Diese Forderungen wurden vom Parlament nur zur Hälfte berücksichtigt.

Im Mai 2011, unmittelbar nach dem GAU in Japan, präsentierten die Umweltorganisationen mit dem Bericht «**Atomausstieg konkret: Potenziale, Massnahmen und Gewinne**» ein Stromszenario, das zeigte, wie ein schneller Ausstieg aus der Atomenergie bis 2025 in der Schweiz zu bewerkstelligen ist. Bundesrat und Parlament beschlossen im gleichen Monat den mittelfristigen Atomausstieg. Das Szenario der Umweltverbände wurde jedoch vor allem aus zwei Gründen kritisiert. Zum einen hätten Stromszenarien mit Jahresbilanzen, ohne Betrachtung der Versorgungssicherheit zu jedem Zeitpunkt im Jahr, nur einen begrenzten Wert. Andererseits wurde moniert, dass ein Stromszenario nur dann sinnvoll sei, wenn es in eine konsistente Gesamtenergie- und Klimaschutzsicht eingebettet werde. Greenpeace hat diese beiden Kritikpunkte zur Kenntnis genommen und berücksichtigt sie in der **Energy [R]evolution**, einem Gesamtenergieszenario für die Schweiz, für das detaillierte Stundenmodellierungen beim Stromversorgungsmix durchgeführt wurden.

Die Energy [R]evolution wurde mit dem für die Schweiz angepassten Energieversorgungs-Simulationsmodell Mesap/PlaNet der Universität Stuttgart von der Systemanalysegruppe am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) errechnet.



- Das Referenzszenario (REF) geht von der Fortsetzung aktueller Trends und der Umsetzung eines ersten Pakets von politischen Massnahmen aus. Es bildet das vom Bundesrat vorgelegte Szenario «Politische Massnahmen» (POM) ab. Dieses Szenario bildet die Ausgangsbasis für den Vergleich mit dem Energy-[R]evolution-Szenario.
- Das Energy [R]evolution-Szenario (ER) wurde von Experten entwickelt, um die oben beschriebenen Ziele zu erreichen, zu denen auch der Beitrag der Schweiz zur Eindämmung der Klimaerwärmung um maximal 2°C gehört.

Beide Szenarien wurden von der Systemanalysegruppe am Institut für Technische Thermodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit dem für die Schweiz angepassten Energieversorgungs-Simulationsmodell Mesap/PlaNet berechnet. Dieses Simulationsmodell wurde bereits für frühere globale und nationale Energy-[R]evolution-Studien eingesetzt.²³ Mesap/PlaNet ist ein bilanzierendes Modell, bei dem die Marktanteile der Energieträger extern vorgegeben werden. Die Anteile wurden ausgehend von den nachhaltigen Ausbaupotenzialen und den strukturellen Möglichkeiten festgelegt. Wichtig war, dabei einen zu 100% erneuerbaren Elektrizitätsmix zu entwickeln, der die Versorgungssicherheit rund um die Uhr zu jeder Zeit sicherstellen kann und der wirtschaftlich tragbar ist.

Die ökonomische Rechnung für den Stromsektor umfasst den Anlagenersatz nach jeweils definierten Lebensdauern, woraus dann die Gestehungskosten vollkostenbasiert ermittelt werden. Für die Modellierung der Nachfrageentwicklung wird basierend auf den Treibergrössen Wirtschaftsentwicklung (BIP) und Bevölkerung (inputseitig verknüpft mit untergeordneten Treibergrössen wie Verkehrsleistungen und beheizten Flächen) über plausible Annahmen zur Entwicklung der jeweiligen Energieintensitäten in den Sektoren und den Anwendungen der Endenergiebedarf bestimmt.

Folgende Rahmenbedingungen bzw. Daten wurden als Input für die Berechnungen des Energy-[R]evolution-Szenarios verwendet:

- Die Rahmenannahmen zur **Bevölkerungsentwicklung und zur Entwicklung des Bruttoinlandprodukts (BIP) bis 2050** wurden von den Prognos-Szenarien übernommen, die der Bundesrat im September 2012 als Grundlage für die neue Energiestrategie veröffentlichte (Prognos 2012).
- Für die **Kostenentwicklung der erneuerbaren Energien** wurden die jüngsten Entwicklungen und Prognosen der extrem schnellelebigen Märkte²⁴ im Strom- und im Wärmesektor berücksichtigt. Dadurch unterscheidet sich das [ER]-Szenario stark von den Prognos-Szenarien, die in einigen Aspekten von der realen Entwicklung überholt worden sind. Diese Anpassungen spielen insbesondere bei der Photovoltaik eine Rolle. Für die erneuerbaren Energien im Wärmesektor haben der European Renewable Energy Council (EREC) und das DLR eine detaillierte Untersuchung zur aktuellen Marktlage der regenerativen Heiztechnik sowie zu Marktvorhersagen, Kostenprognosen und dem Stand der Technik durchgeführt. Dank des enormen und vielseitigen Potenzials der erneuerbaren Stromerzeugung sieht die Energy [R]evolution zudem eine

Verschiebung in der Nutzung erneuerbarer Energien vom Bereich der Stromerzeugung zur Wärmegewinnung vor.

- Für die **Kosten von CO₂-Emissionen** wurde ein konservativer weltweiter Durchschnitt verwendet. Demnach steigen die Kosten von 11 EUR pro Tonne im Jahr 2015 auf knapp 60 EUR pro Tonne im Jahr 2050. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die CO₂-Preise in Europa stärker steigen werden, wenn es gelingt, europaweit konsistente Klimaziele und entsprechende Klimagas-Verknappungen durchzusetzen. Für die Umrechnung von EUR in Franken wurde ein Wechselkurs von 1.25 angenommen.
- Die **Energiebedarfsprognosen** wurden unter Berücksichtigung von normalen Ersatzzyklen für Energie verbrauchende Geräte auf der Basis der jüngsten Untersuchungen der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz²⁵ und einer Untersuchung der Universität Utrecht (NL) zum künftigen Potenzial für Energieeffizienzmassnahmen aus dem Jahr 2012 entwickelt. Zu den wichtigsten Annahmen für den Energiebedarf im Wärmebereich zählen eine rasche Ausweitung der Nutzung von Fernwärme sowie eine grössere Nutzung von Strom für Wärmezwecke. Weil Strom auch für den wachsenden Anteil der Elektrofahrzeuge im Verkehrssektor benötigt wird, kann der Verbrauch trotz massiver Effizienzsteigerungen (aber ohne Suffizienz) lediglich auf 60 TWh/a stabilisiert werden. Zudem wird von einer rascheren Expansion von solar- und geothermischen Heizanlagen ausgegangen – die verwendeten Zahlen und Quellen für Strom und Wärme sind im Anhang zu finden.
- Für den **Ausbau der erneuerbaren Energien** wurden folgende Rahmenbedingungen für die **langfristig nachhaltige Nutzung** gesetzt. Bei der Stromproduktion stützen wir uns hauptsächlich auf den 100PRO-Strommix der Umweltallianz ab²⁶:
 - Das **Biomassepotenzial** der Energy [R]evolution ist geringer als das im Bundesratsszenario ausgewiesene Potenzial, weil wir uns für den Einsatz von Biomasse im Strom-, Wärme- und Verkehrsbereich auf das ökologisch nachhaltige Potenzial einer detaillierten Studie des Bundesamts für Umwelt BAFU aus dem Jahr 2004 abgestützt haben (Infras 2004). Insgesamt ist damit der ökologisch nachhaltige Primärenergie-Einsatz auf 126 PJ/a begrenzt. Auf Stufe Endenergie werden wegen der Umwandlungsverluste nicht mehr als 75 PJ/a eingesetzt. Im Jahr 2050 wurden im Strombereich rund 6,4 TWh/a oder 23 PJ/a eingesetzt, im Verkehr sind es rund 22 PJ/a und im Wärmebereich rund 29 PJ/a.
 - Das **Potenzial der Windenergie** wurde analog zum 2011 veröffentlichten Stromszenario der Umweltallianz auf den jährlichen Stromertrag von rund 400 Windkraftanlagen (WKA) begrenzt. Der Stromertrag der WKA wurde aber den neusten Anlagentechnologien angepasst. Zusammen mit einer moderaten Weiterentwicklung der WKA-Technologie steigt so das Windenergiepotenzial trotz gleichbleibender Anlagenzahl von rund 1,5 TWh/a bis 2035 auf rund 4

referenz

²³ ENERGY [R]EVOLUTION: A SUSTAINABLE WORLD ENERGY OUTLOOK, GREENPEACE INTERNATIONAL, 2007, 2008, 2010 UND 2012.

²⁴ SIEHE EREC, RE-THINKING 2050, GWEC, EPIA ET AL.

²⁵ [HTTP://WWW.ENERGIEEFFIZIENZ.CH/DL/INDEXDOWNLOADS.HTML](http://www.energieeffizienz.ch/dl/indexdownloads.html)

²⁶ VGL. DAZU «STROMMIX 2035: 100PRO – EINHEIMISCH, EFFIZIENT, ERNEUERBAR»: [HTTP://WWW.UMWELTALLIANZ.CH/DE/STROMZUKUNFT.HTML](http://www.umweltallianz.ch/de/stromzukunft.html)

TWh/a im Jahr 2050. Heutige Anlagen können bei Schweizer Windverhältnissen rund 6–7 GWh/a produzieren, was ungefähr eine Verdoppelung des Potenzials des 100PRO-Strommixes bedeutet. Zusätzlich gehen wir davon aus, dass der Ertrag pro Anlage bis 2050 auf rund 10 GWh/a steigen wird.

- Das **Potenzial der tiefen Geothermie für die Stromproduktion** wurde wegen der noch unsicheren Ausgangslage analog zu den Prognos-Szenarien auf rund 3,8 TWh/a im Jahr 2050 begrenzt. Damit liegt der Beitrag der Geothermie in einem Bereich, der durch andere Massnahmen ersetzt werden kann, falls die Technologie keine vermehrte Anwendung findet.
- Das **Potenzial der Erdwärmenutzung mittels Wärmepumpen** wurde im E[R]-Szenario an das verfügbare erneuerbare Stromangebot gekoppelt.
- Das zusätzliche **Potenzial der Wasserkraft** wurde gemeinsam mit den anderen Umweltorganisationen der Umweltallianz wegen der heute schon sehr starken Nutzung der Wasserläufe in der Schweiz auf rund 1 TWh/a begrenzt (Basis: 2010). Damit liegt der nachhaltige durchschnittliche jährliche Beitrag der Wasserkraft bei max. 37 TWh im Jahr 2050.
- Das **Potenzial der Photovoltaik (PV)** wurde anhand der Studien der Internationalen Energieagentur (IEA) aus dem Jahr 2002²⁷ und des Bundesamts für Umwelt (Meteotest 2012²⁸) ermittelt. Die IEA hat 2002 die zur Solarstromproduktion geeigneten²⁹ Schweizer Dachflächen und Fassaden analysiert und mit einem konservativen Wirkungsgrad von 10% ein Stromproduktionspotenzial von 18 TWh/a errechnet. Das sind 30% des heutigen Stromverbrauchs. Bezieht man die steigenden Wirkungsgrade³⁰ und die Tatsache ein, dass die IEA neu entstehende Dächer sowie weitere gut nutzbare Flächen auf Infrastrukturen wie Schallschutzwänden, Lawinenverbauungen und Stauseemauern in ihrer Abschätzung nicht berücksichtigt hat, dann steigt das Solarstrompotenzial auf rund 30 TWh/a. Die Analyse von Meteotest weist ein nachhaltiges PV-Potenzial von 15,5 TWh/a aus. Wenn nur gesellschaftliche oder nur wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt würden, stiege das Potenzial auf rund 35 TWh/a an. Der Ausbau der Solarenergie im E[R]-Szenario erreicht nicht die extern vorgegebenen 30 TWh/a, sondern nur knapp 19 TWh im Jahr 2050. Weil Photovoltaikanlagen im Alpenraum im Winter fast gleich viel produzieren wie im Sommer, während Anlagen im Mittelland im Sommer doppelt so viel liefern wie im Winter, gehen wir davon aus, dass rund ein Fünftel bis ein Viertel der Solaranlagen auf Dächern und Infrastrukturen (z.B. Lawinenverbauungen) in den Alpen installiert werden kann.
- Das **Potenzial der Solarthermie** wurde gemäss dem Masterplan Solarthermie des Branchenverbands Swissolar auf höchstens 40 PJ/a im Jahr 2035 beschränkt, die sich nachhaltig nutzen lassen. Das entspricht etwa 2 m² Sonnenkollektoren pro Kopf. Im E[R]-Szenario wird dieses Potenzial mit 39 PJ/a im Jahr 2050 knapp nicht ausgereizt.

- Die Möglichkeit von **Stromimporten** wurde im Szenario zugelassen, aber auf netto maximal 8 TWh/a oder rund 14% der inländischen Stromproduktion begrenzt. Damit bleiben wir im Rahmen der bisherigen Import-Export-Bilanz, die 2005 bis 2012 zwischen plus 6300 und minus 2200 TWh/a lag. Wegen des schon fortschreitenden Umbaus des Energiesystems in den umliegenden Ländern und der Investitionen von Schweizer Stromversorgern wie IWB, SIG oder EWZ in erneuerbare Energien im Ausland (vor allem Windkraft und Solarstrom) wurde unterstellt, dass die Stromimporte zunehmend auf erneuerbarem Strom beruhen. Im E[R]-Szenario steigt der erneuerbare Anteil der Stromimporte bis 2050 auf über 90%.
- Die künftigen **Entwicklungsoptionen für Fahrzeugtechnologien** beruhen auf einem Sonderbericht, der 2012 vom Institut für Fahrzeugkonzepte am DLR im Auftrag von Greenpeace International erstellt wurde.
- Das Institute for Sustainable Futures (ISF) schliesslich hat die Auswirkungen der Energy [R]evolution und des Referenzszenarios auf den **Arbeitsmarkt** ermittelt.

Als Neuerung im Energiesystem wird im Energy-[R]evolution-Szenario mittelfristig **Wasserstoff** eingeführt. Dieser wird durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom erzeugt und kommt nach 2025 vor allem im Verkehrs- und teilweise im Industriesektor zum Einsatz. Erstens werden im Sommer Stromüberschüsse anfallen und zweitens können wir aus heutiger Sicht nicht von einer vollständigen Elektrifizierung aller Verkehrsträger und Prozessanwendungen in der Industrie ausgehen. Die Wasserstoffherstellung ist aus heutiger Sicht zwar mit hohen Energieverlusten verbunden, aufgrund des begrenzten Potenzials von Biomasse und auch von elektrischen Anwendungen ist ein zusätzlicher erneuerbarer Energieträger jedoch notwendig. Der erneuerbare Wasserstoff lässt sich je nach Wirtschaftlichkeit (Lagerungskosten vs. zusätzliche Verluste) sowie je nach Technik- und Marktentwicklungen im Verkehrssektor (Verbrennungsmotoren vs. Brennstoffzellen) auch in synthetisches Methan oder in flüssige Brennstoffe umwandeln.

Im Anhang sind sämtliche Grundannahmen zu den vorliegenden Szenarien aufgeführt. Dazu gehören:

- Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum bis 2050
- Annahmen zur Entwicklung der Öl- und Gaspreise
- Annahmen zu den künftigen Kosten von CO₂-Emissionen (inkl. Techniken zur Abscheidung und Endlagerung von CO₂-Emissionen im Untergrund)
- Annahmen zur Kostenentwicklung der erneuerbaren Technologien im Strom-, Wärme- und Kältesektor (Wasser, Wind, Sonne, tiefe und untefe Geothermie, Wärmepumpen und Biomasse).

referenz

27 POTENTIAL FOR BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS: IEA – PVPS T7-4: 2002 (SUMMARY): [HTTP://WWW.NETENERGY.CH/PDF/BIPVPOTENTIALSUMMARY.PDF](http://www.netenergy.ch/pdf/bipvpotentialsummary.pdf)

28 ENERGIESTRATEGIE 2050: BERECHNUNG DER ENERGIEPOTENZIALE FÜR WIND- UND SONNENENERGIE: [HTTP://WWW.BAFU.ADMIN.CH/LANDSCHAFT/00522/01659/INDEX.HTML?LANG=DE](http://www.bafu.admin.ch/landschaft/00522/01659/INDEX.HTML?LANG=DE)

29 AUF DIESEN FLÄCHEN TREFFEN MINDESTENS 80% DER EINSTRALUNG EINES OPTIMAL GENEIGTEN UND PERFEKT NACH SÜDEN AUSGERICHTETEN DACHES EIN.

30 IN DEN JAHREN 2003 BIS 2010 KONNTE DER DURCHSCHNITTLICHE WIRKUNGSGRAD VON POLYKRISTALLINEN PV-MODULEN UM 23% GESTEIGERT WERDEN.

Resultate: Eine echte Energiewende für die Schweiz

DIE ENTWICKLUNG DER
ENDENERGIENACHFRAGE

DIE ENTWICKLUNG DER
ELEKTRIZITÄTSVERSORGUNG

VERSORGUNGSSICHERHEIT IM
STROMVERSORGUNGSSYSTEM VON
MORGEN

DIE ENTWICKLUNG DER
WÄRMEVERSORGUNG

DIE ENTWICKLUNG IM
VERKEHRSBEREICH

ENTWICKLUNG DER
CO₂-EMISSIONEN

ENTWICKLUNG DES
PRIMÄRENERGIEVERBRAUCHS

3



« Die Energie-
zukunft
wird effizienter,
technologisch
anspruchsvoller und
von der Produktion
her dezentraler. »
Doris Leuthard, 2013

Die Resultate des Energy-[R]evolution-Szenarios (E[R]-Szenario) werden im Folgenden mit dem Bundesszenario POM («Politische Massnahmen») verglichen, das als Referenz dient. Oft wird auch der Vergleich mit dem Bundesszenario NEP («Neue Energiepolitik») gezeigt, weil dieses wie das E[R]-Szenario ambitionierte Ziele verfolgt. Das POM-Szenario zeigt auf, welche Wirkungen erreicht werden, wenn das vom Bundesrat in der Botschaft vorgeschlagene erste Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 umgesetzt wird.

Das NEP-Szenario des Bundes ist wie das E[R]-Szenario ein Zielszenario. Es erfüllt aber aus Sicht von Greenpeace weder die wissenschaftlich begründeten Anforderungen des Klimaschutzes noch jene eines bestmöglichen Schutzes vor nuklearen Risiken.

Da die Sicherstellung der Versorgungssicherheit eine der Zielsetzungen des E[R]-Szenarios ist, schlagen wir einen erneuerbaren Strommix vor, mit dem die Versorgung das ganze Jahr über rund um die Uhr sichergestellt werden kann.³¹

In der Besprechung der Resultate werden der Gesamtenergieverbrauch und die detaillierte Entwicklung von Nachfrage und Angebot für Elektrizität, Wärme und Verkehr aufgezeigt. Und wir zeigen, wie sich im E[R]-Szenario die CO₂-Emissionen und der Primärenergieeinsatz entwickeln.

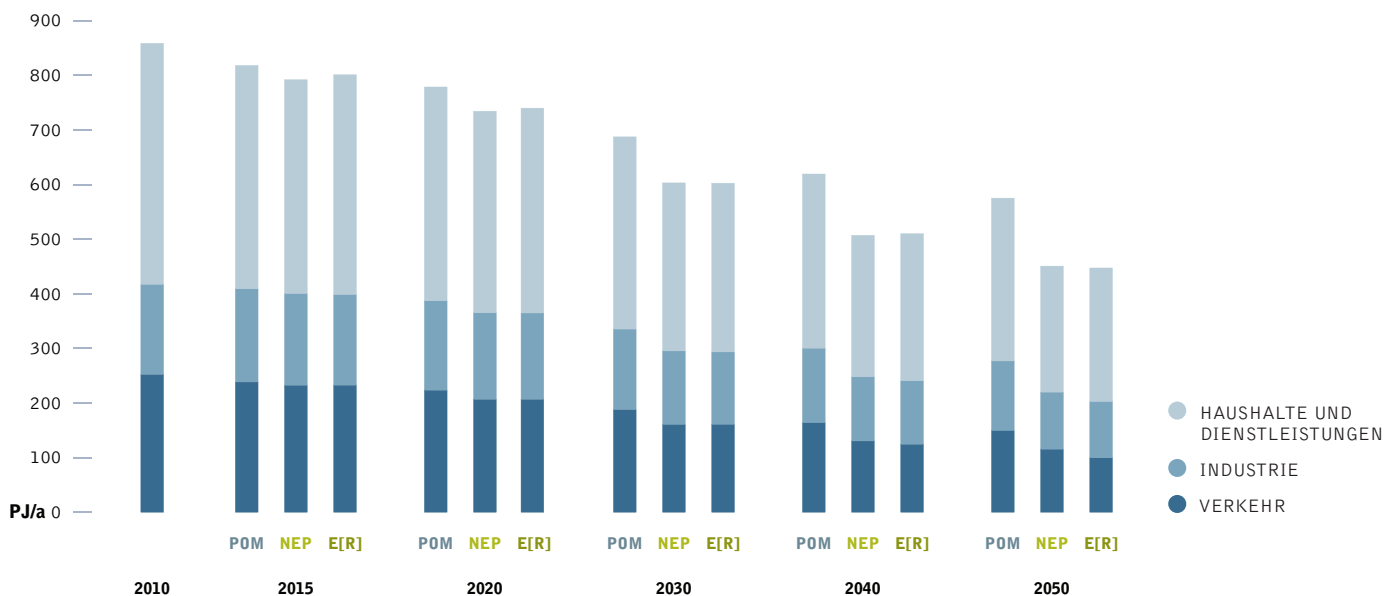
3.1 Entwicklung der Endenergienachfrage in den Bereichen Elektrizität, Wärme und Verkehr

Die meisten Energieszenarien für die Schweiz – auch die Bundesszenarien und das E[R]-Szenario – rechnen mit einer gesamthaften Abnahme des Energiebedarfs (vgl. Abbildung 3.1). Die Schweiz wird also in Zukunft dank einer Steigerung der Energieeffizienz trotz Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum weniger Energie verbrauchen.

Im E[R]-Szenario und im NEP-Szenario des Bundes geht die Energienachfrage im Vergleich zum aktuellen Verbrauch um knapp 50% zurück und liegt im Jahr 2050 bei rund 450 PJ/a. Im Referenzszenario (POM) sinkt die Gesamtenergienachfrage um 33% von derzeit 859 PJ/a auf 575 PJ/a im Jahr 2050. Somit liegt der Effizienzgewinn im Vergleich der beiden Szenarien 2050 bei 125 PJ/a.

In der untersuchten Szenario-Variante «Suffizienz», in welcher der Einfluss einer Stabilisierung der beheizten Flächen und der Verkehrsleistungen auf dem Niveau des Ausgangsjahres 2010 untersucht wurde, geht der Endenergiebedarf um weitere 11% auf rund 400 PJ/a zurück. Der Einfluss ist deswegen nicht grösser, weil schon in den Standardszenarien davon ausgegangen wird, dass das in der Vergangenheit beobachtete Wachstum dieser Mengentreiber abflachen wird.

Abbildung 3.1: Endenergienachfrage nach Sektoren – die Bundesszenarien POM und NEP im Vergleich mit dem E[R]-Szenario (OHNE INT. FLUGVERKEHR)



quelle EIGENE BERECHNUNGEN UND PROGNOSEN 2012, S. 367 UND 493.

referenz

³¹ ENTSPRECHENDE MODELLIERUNGEN WURDEN MIT DEM MODELL VON SUPERCOMPUTING SYSTEMS (SCS) VORGENOMMEN, VGL. [HTTP://WWW.SCS.CH/FILEADMIN/IMAGES/TG/ENERGIE.PDF](http://www.scs.ch/fileadmin/images/tg/energie.pdf)



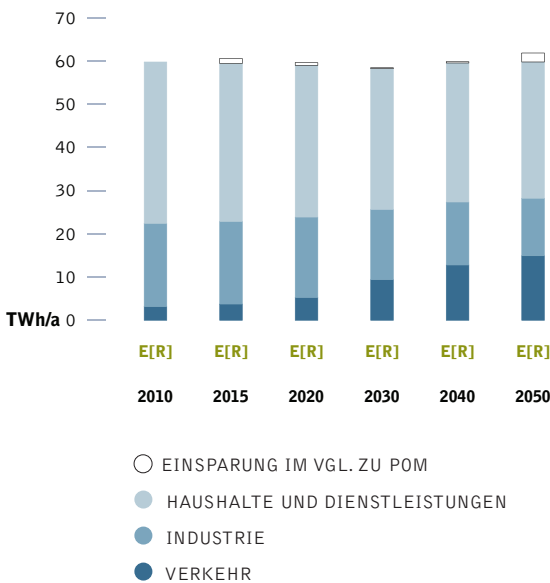
Ein genauerer Blick auf das E[R]-Szenario zeigt, dass die Abnahme des Gesamtenergieverbrauchs bis 2050 im Verkehrssektor mit einem Rückgang von 60% am deutlichsten ist, gefolgt vom Sektor Haushalte und Dienstleistungen mit einem Rückgang von 45%. Im Industriesektor beträgt die Reduktion der Endenergienachfrage rund 38%. Beim Vergleich der Szenarien fällt auf, dass der Bedarf im Verkehrsbereich beim E[R]-Szenario am tiefsten ist (rund 9% tiefer als NEP und 33% tiefer als POM). Beim Sektor Haushalte und Dienstleistungen liegt der Endenergiebedarf im E[R]-Szenario dagegen um rund 5% höher als im NEP-Szenario des Bundes.

Die **Elektrizitätsnachfrage** bleibt beim E[R]-Szenario dank Effizienzgewinnen trotz des Wachstums von Bevölkerung und Wirtschaft und trotz zunehmender Elektroanwendungen im Wärme- und Verkehrsbereich auf dem heutigen Niveau von rund 60 TWh/a bzw. 215 PJ/a. Damit liegt die Elektrizitätsnachfrage 2050 nur gering tiefer als im Referenzszenario POM. Im E[R]-Szenario sinkt die Stromnachfrage in der Industrie (-31%) und bei den privaten Haushalten plus Dienstleistungen (-16%), dagegen steigt sie im Verkehrswesen deutlich (+372%).

Die Szenario-Variante «Suffizienz» mit einer Stabilisierung der beheizten Flächen und Verkehrsleistungen auf dem Niveau von 2010 verringert die Elektrizitätsnachfrage um weitere 2,4 TWh/a bis ins Jahr 2050.

Im Vergleich zum NEP-Szenario liegt die Elektrizitätsnachfrage 2050 im E[R]-Szenario bei etwa 24 PJ/a oder rund 6,6 TWh/a höher, denn die Dekarbonisierung des Energiesystems erfordert – bei unveränderten Annahmen zu den wesentlichen Treibern des Energieverbrauchs – eine starke Wärmepumpen- und Elektromobilitätsstrategie. Die Nutzung von fossilen Energieträgern in Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen anstelle von Wärmepumpen wird im E[R]-Szenario wegen der Klimaschutzanforderungen nur beschränkt zugelassen. Die Nutzung der Erdwärme mit Wärmepumpen liegt im E[R]-Szenario im Sektor Haushalte und Dienstleistungen um den Faktor 2 und im Industrie-Sektor um den Faktor 6 höher als im NEP-Szenario. Und die Nutzung von Elektrizität im Verkehrssektor liegt im E[R]-Szenario um rund 36% höher als im NEP-Szenario. Dass unter diesen Umständen der Strombedarf dennoch stabilisiert werden kann, ist in erster Linie einer im Vergleich zu den Bundesszenarien ambitionierten Effizienzstrategie für den Wärmepumpeneinsatz zu verdanken. Es braucht politische Rahmenbedingungen, damit – wie im Greenpeace-Szenario vorausgesetzt – die durchschnittliche Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen bis 2050 auf 4 steigt (vgl. Abschnitt zur Wärmeversorgung S.33).

Abbildung 3.2: Verlauf der Elektrizitätsnachfrage im E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz (POM-SZENARIO DES BUNDES).



Die Verbesserungen der Energieeffizienz liegen im Bereich der **Wärmenachfrage** deutlich höher als im Elektrizitätsbereich. Im E[R]-Szenario sinkt die Wärmenachfrage konstant von 428 auf 230 PJ/a (siehe Abbildung 3.3). Verglichen mit dem Referenzszenario wird bis 2050 durch Effizienzsteigerungen ein zusätzliches Verbrauchsäquivalent von 30 PJ/a vermieden.

In der Szenario-Variante «Suffizienz» mit der Stabilisierung der beheizten Flächen nimmt die Nachfrage im Vergleich zum E[R]-Szenario nochmals um 26% ab und erreicht 170 PJ/a im Jahr 2050. Gegenüber dem Ausgangsjahr 2010 ist das ein Rückgang von 60%.

Im Sektor Haushalte und Dienstleistungen kann die Wärmenachfrage in diesem Zeitraum halbiert werden. Im Industriesektor wird mit einem Rückgang von 37% gerechnet. Dank der ehrgeizigen energetischen Sanierung bestehender Wohnhäuser sowie der baldigen Einführung von Passiv- oder Plusenergiehaus-Standards bei Neubauten wird der Energieverbrauch bei gleichbleibendem Komfort und denselben Energiedienstleistungen in Zukunft viel niedriger ausfallen.

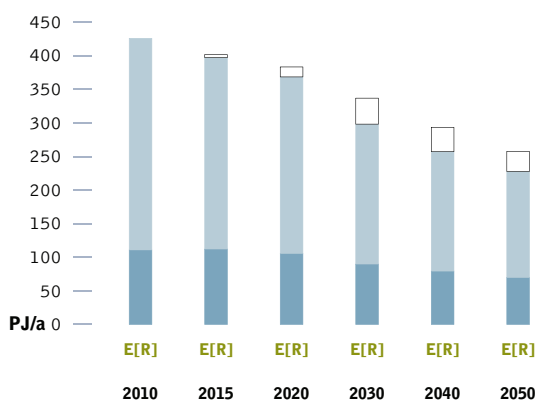
Die **Endenergienachfrage im Verkehrssektor** sinkt im E[R]-Szenario bis 2050 um 60% oder 153 PJ/a im Vergleich zum Niveau im Jahr 2010 auf rund 100 PJ/a im Jahr 2050. Gegenüber der Referenz werden Einsparungen von rund 50 PJ/a im Jahr 2050 erreicht.

Die **Stabilisierung der Verkehrsleistungen auf dem Niveau von 2010** (Szenario-Variante «Suffizienz») hat einen zusätzlichen Verbrauchsrückgang von 5% oder 5 PJ/a im Jahr 2050 zur Folge. Hier wird besonders deutlich, dass die Verkehrsleistungen schon im Standardszenario stabilisiert werden. Sie liegen 2050 nur ganz leicht über dem Niveau von 2010. Eine Stabilisierung der Verkehrsleistungen auf dem Niveau eines früheren Jahres (z.B. 2000) hätte eine bis zu vierfach höhere Wirkung.

Der Verkehr spielt eine Schlüsselrolle für eine effektive Klimastrategie. Die Stabilisierung der Verkehrsleistung sowie die Nutzung der jeweils effizientesten Verkehrsmittel stehen dabei an oberster Stelle. Für das E[R]-Szenario braucht es eine Raumplanung und eine Verkehrsorganisation zur Stabilisierung der Verkehrsleistungen, zur Verringerung des Flugverkehrs³² sowie zum Einsatz von deutlich kleineren, leichteren Individualfahrzeugen und optimierten Transportmitteln im öffentlichen Verkehr. Ausserdem sind verbesserte Logistikkonzepte und verbesserte Fahrzeuge für den Güterverkehr nötig. Besonders im städtischen Bereich wird sich der verbleibende motorisierte Verkehr auf kollektive Verkehrsmittel wie S-Bahn, Trams und Busse verlagern.

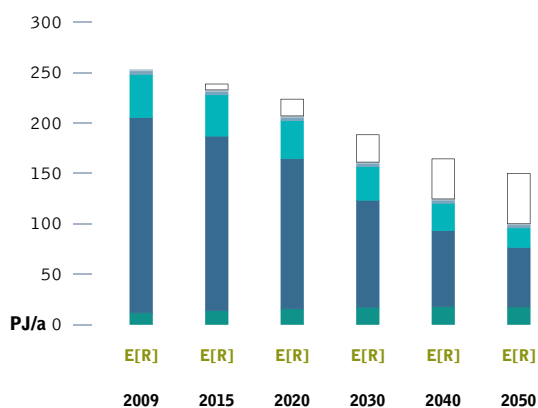
Abbildung 3.3: Verlauf der Wärmenachfrage in den Sektoren im E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz

(POM-SZENARIO DES BUNDES).



- EINSPARUNG IM VGL. ZU POM
- HAUSHALTE UND DIENSTLEISTUNGEN
- INDUSTRIE

Abbildung 3.4: Verlauf der Endenergiefrage nach Verkehrsträger für das E[R]-Szenario sowie Differenz der Nachfrage im Vergleich zur Referenz (POM-SZENARIO DES BUNDES)



- EINSPARUNG IM VGL. ZU POM
- SCHIFFFAHRT
- INLANDFLÜGE
- STRASSE (SCHWERVERKEHR)
- STRASSE (PERSONEN- UND LIEFERWAGEN)
- SCHIENE

referenz

³² IM VERWENDETEN BERECHNUNGSANSATZ NACH DEM TERRITORIALPRINZIP WERDEN NUR INLANDFLÜGE BETRACHTET. AUS SICHT DES KLIMASCHUTZES MUSS ABER VOR ALLEM DER INTERNATIONALE FLUGVERKEHR EINGESCHRÄNKT WERDEN, Z.B. INDEM DIE VERBILLIGUNG DES KEROSINS AUFGEHOBEN UND EINE CO2-ABGABE DARAUF EINGEFÜHRT WIRD.

bild JUGENDSOLAR ENERGIEWOCHE IN EBNAT-KAPPEL. 140 SCHÜLER UND LEHRER HABEN BEI DER ERSTELLUNG DER SOLARANLAGE MITGEWIRKT.

bild BIOGAS ANLAGE IN ITTIGEN BEI BERN.



3.2 Die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung

Die Entwicklung der Elektrizitätsversorgung im E[R]-Szenario ist deutlich dynamischer als in den Bundesszenarien. Wegen des frühen Atomausstiegs und der Tatsache, dass sich mit einer fossilen Stromproduktion die Klimaschutzverpflichtungen nicht einhalten lassen, wird ein schnell wachsender Anteil an erneuerbaren Energien angenommen.

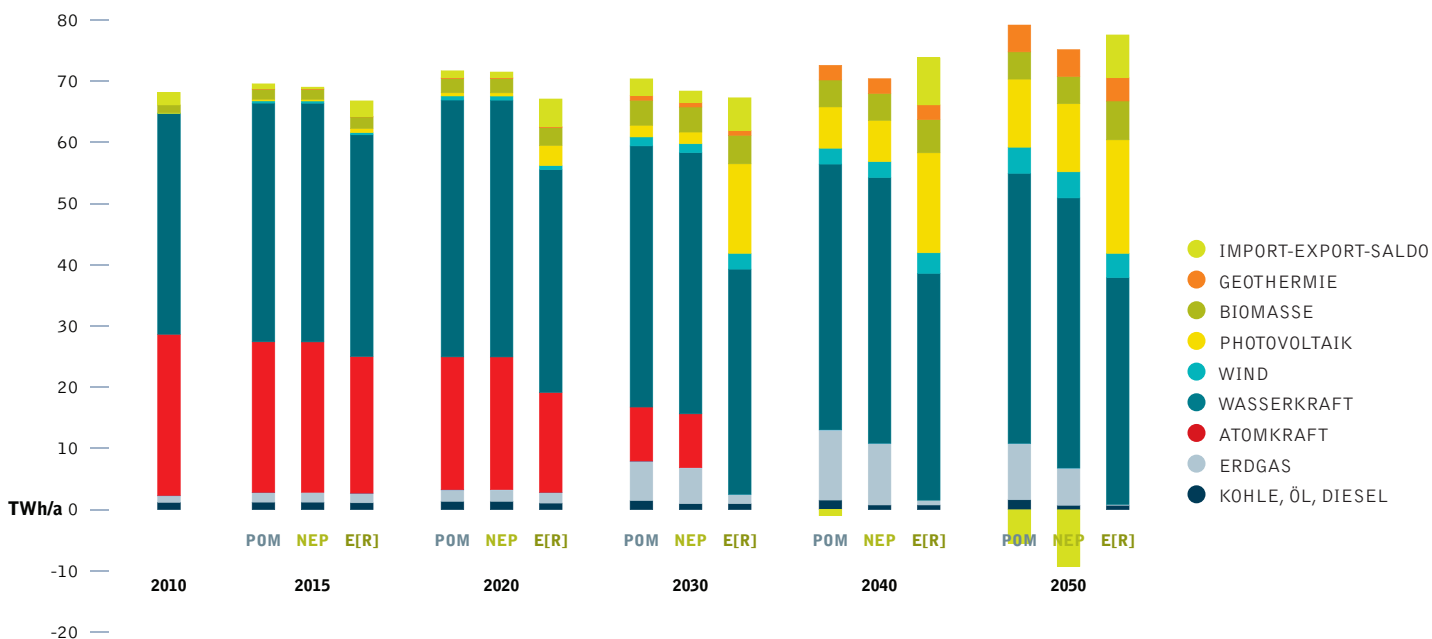
Im E[R]-Szenario steigt die Stromproduktion von aktuell rund 66 TWh/a auf rund 71 TWh/a. Da wir im Strombereich zwar einen hohen Eigenversorgungsgrad, aber keine Autarkie anstreben, werden Nettoimporte von bis zu 8 TWh/a oder etwa 13% des Endverbrauchs zugelassen. Sie werden in erster Linie benötigt, um einen optimalen Betrieb der Speicherkraftwerke für eine möglichst unabhängige Winterversorgung zu erreichen.

Der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromproduktion steigt von 56,7% im Jahr 2010 auf über 95% im Jahr 2025 und auf rund 98% im Jahr 2050. Neue erneuerbare Energien – vor allem Windkraft, PV und Biomasse – werden dann 36% des Strombedarfs liefern. Die Stromnachfrage wird somit ab 2030 zu fast 100% mit erneuerbaren Energien gedeckt. Der verbleibende nicht erneuerbare Anteil stammt von fossilen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen und dem nicht erneuerbaren Anteil aus der Abfallnutzung.

Tabelle 3.1: Entwicklung der Stromerzeugungskapazitäten erneuerbarer Energien im Referenz- und im Energy Revolution Szenario IN GW

		2010	2020	2030	2040	2050
Wasser	POM	12	14	14	15	15
	E[R]	12	12	12	13	13
Biomasse	POM	0,4	0,6	1,1	1,2	1,2
	E[R]	0,4	0,8	1,4	1,8	2,2
Wind	POM	0,04	0,6	1,1	1,7	2,5
	E[R]	0,04	0,6	2,0	2,2	2,3
Geothermie	POM	0	0,03	0,1	0,4	0,7
	E[R]	0	0,03	0,1	0,5	0,7
Photovoltaik	POM	0,1	0,5	2,0	7,0	12
	E[R]	0,1	3,4	15	17	19
Total	POM	13	16	19	25	31
	E[R]	13	17	31	34	37

Abbildung 3.5: Entwicklung der Stromproduktion – die beiden Bundesszenarien POM und NEP (beide Angebotsvarianten C&E³³) im Vergleich mit dem E[R]-Szenario



quelle EIGENE BERECHNUNGEN UND PROGNOSEN 2012, ANHANG III, S. 31 UND 43.

referenz

³³ IN DEN SZENARIEN DES BUNDES WERDEN VERSCHIEDENE STROMANGEBOTSARIANTEN UNTERSUCHT. C STEHT FÜR «FOSSIL ZENTRAL» UND E FÜR «ERNEUERBARE ENERGIEN».



Bei der **Photovoltaik** sind die Unterschiede zu den Bundesszenarien am deutlichsten: Schon im Jahr 2020 werden im E[R]-Szenario rund 2,8 TWh/a mehr produziert als in den beiden Bundesszenarien. Im Jahr 2030 beträgt der Unterschied 12,7 TWh/a und 2050 sind es noch 7,4 TWh/a. Im E[R]-Szenario wird die Solarenergie also viel schneller und auf ein höheres Niveau ausgebaut (18,5 TWh/a im Jahr 2050). Der verwendete Wachstumspfad bis 2025 orientiert sich am realen Ausbautempo der umliegenden Länder Italien und Deutschland in den letzten 5 bis 10 Jahren. Beim Ausbau der Wasserkraft geht das E[R]-Szenario weniger weit als die Bundesszenarien, dafür ist die Nutzung der Biomasse für die Stromproduktion höher.³⁴

In der Summe übersteigt das Elektrizitätsangebot inkl. Importen die Nachfrage bei weitem. Dies ist nötig, weil das E[R]-Szenario davon ausgeht, dass der Eigenverbrauch (v.a. Speicherpumpen) und die Übertragungsverluste bis 2050 von heute 6,8 TWh/a auf rund 8 TWh/a steigen und weil erneuerbarer Strom im Umfang von rund 10,5 TWh/a für die Herstellung von **Wasserstoff**

eingesetzt wird. Dafür werden hauptsächlich die nicht benötigten Überschüsse der Photovoltaik und ein Teil der Importe eingesetzt (Überschüsse und Importe zusammen sollten einen wirtschaftlichen Betrieb der Elektrolyseure bei rund 4000 Volllaststunden ermöglichen). Die PV-Überschüsse müssten sonst exportiert oder vernichtet werden, weil die Pumpspeicherwerke auch bei einem Ausbau auf 4 bis 5 GW Pumpleistung von der Speicherkapazität und der Leistungsaufnahme her nicht alle Überschüsse aufnehmen können.

Wasserstoff wird hauptsächlich als erneuerbare Option im Verkehr und in der Industrie benötigt, das heisst, er wird fast nicht rückverstromt. Prinzipiell kann Wasserstoff auch als Speicher für erneuerbare Strom-Überschüsse verwendet werden. Der Einsatz im Verkehr und in der Industrie wird wegen der begrenzten Biomasse-Potenziale vorgesehen, da sonst ein Energieträger für die nach heutigem Wissen nicht sinnvoll mit Elektrizität substituierbaren fossilen Energien fehlt (für Hochtemperaturprozesse, schwere Lastwagen und Maschinen).

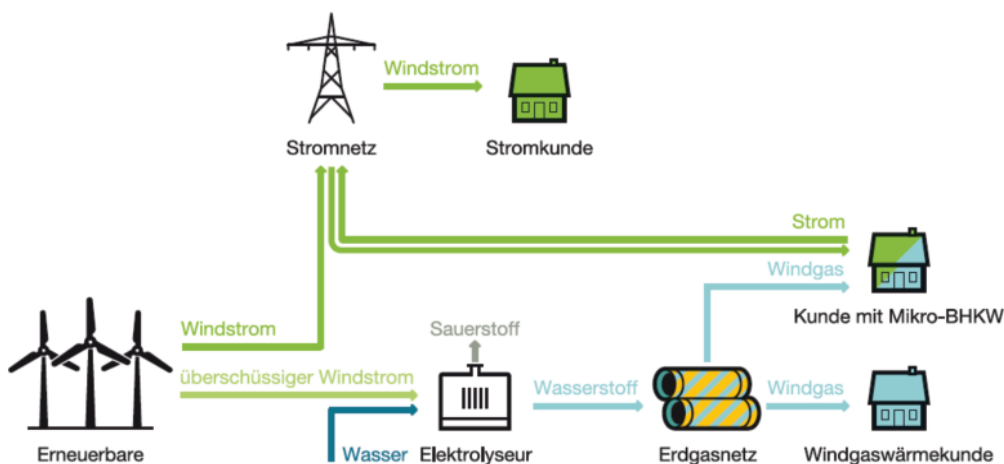
Kasten 3.1: proWindgas – ein Wasserstoff-Produkt von Greenpeace Energy

Die Einbindung von Wasserstoff ins Energiesystem ist keine Zukunftsmusik mehr: Die grösste Energiegenossenschaft Deutschlands, Greenpeace Energy, bietet ab 2012 proWindgas an, ein Gasprodukt ohne Biogas, aber mit einem neuartigen, bisher einmaligen ökologischen Zusatznutzen: Der Gaskunde fördert mit diesem Produkt die Produktion und Einspeisung von erneuerbarem Wasserstoff, der mit Windstrom erzeugt wird (Windgas). Greenpeace-Energy-Gaskunden fördern damit die künftige Speicherbarkeit von erneuerbaren Energien.

Eine Herausforderung bei der Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien ist die

fluktuierende Einspeisung von Energie aus Wind- und Solarkraftwerken. Künftig müssen – auch bei einem Ausstieg aus Atom- und Kohlekraft – erneuerbare Energien zum Teil speicherbar werden, um die fluktuierende Winderzeugung ausgleichen zu können. Die Umwandlung von Windstrom in erneuerbaren Wasserstoff bzw. erneuerbares Methan trägt zur Lösung dieses Problems bei: Erneuerbarer Wasserstoff und erneuerbares Methan, sogenanntes Windgas, können ins Gasnetz eingespeist und der Strom so gespeichert werden. Bei der Entnahme lässt sich das Gasgemisch zur Wärmeproduktion, am besten jedoch zur Produktion von Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung) nutzen. Damit kann Strom produziert werden, wenn Flaute herrscht. Abbildung 3.6 verdeutlicht das Konzept des Produkts proWindgas.

Abbildung 3.6: Das Konzept des Produktes proWindgas



referenz

³⁴ GESAMTHAFT WIRD IM ENERGIEBEREICH FÜR STROM, WÄRME UND VERKEHR IM E[R]-SZENARIO WENIGER BIOMASSE EINGESETZT, WEIL DIE GESAMTNUTZUNG AN DAS NACHHALTIGE POTENZIAL GEKOPPELT WURDE. IM STROMBEREICH IST ES MEHR, WEIL STROM ALS ENERGIETRÄGER BEI DER E[R] AN BEDEUTUNG GEWINNT.

bild MIT 220 M IST DIE STAUMAUER IN DER VERZASCA-SCHLUCHT EINE DER HÖCHSTEN IN DER SCHWEIZ.

bild MONTE ROSA HÜTTE IM WALLIS.



3.3 Versorgungssicherheit im Stromversorgungssystem von morgen

Für die optimale Integration hoher Anteile fluktuierender erneuerbarer Energien ist im Stromsystem langfristig mehr Flexibilität gefordert. Kurz und mittelfristig ist die Schweiz aber mit den bestehenden Speicherkraftwerken und den im Bau befindlichen Pumpspeicherkraftwerken sehr gut gerüstet.

Für die langfristig erfolgreiche Integration fluktuierender Anlagen gibt es zahlreiche Ansätze:

- Stromeffizienz (insbesondere im Winter) und Lastmanagement bei Verbrauchern: Grosse Verbrauchslasten wie z.B. Kühlhäuser könnten temporär vom Netz genommen oder zu gewissen Zeiten zugeschaltet werden, um Angebot und Nachfrage besser anzugleichen.
- Anlagen zur Produktion erneuerbarer Energien mit der Möglichkeit einer Spitzenlastbegrenzung: Eine Beschränkung der Spitzenlast von PV-Anlagen auf 75% des Maximums führt über das Jahr zu einem Ertragsverlust von lediglich 2–3%.
- Anlagen zur Produktion erneuerbarer Energien, die auf die Stromproduktion im Winter und/oder die Morgen- und Abendstunden optimiert werden (PV-Anlagen im Alpenraum und/oder mit Ost-West-Ausrichtung, Biomasseanlagen mit Sommerspeicher, Windkraftanlagen)
- Weiträumige Vernetzung von Produktionsanlagen und strategische Importe von erneuerbarem Strom (v.a. Windstrom aus dem Norden und Strom aus solarthermischen Anlagen im Süden)
- Umwandlung von Stromspitzen in Wasserstoff und synthetisches Erdgas (Power to Gas).
- Speicherung von Strom in Wärmespeichern (Power to Heat).
- Einsatz von Batterien oder sonstigen Stromspeichern (z.B. Druckluft).

Die Ansicht, die fluktuierenden erneuerbaren Energien eigneten sich wegen der zusätzlichen Anforderungen nicht zur Deckung eines Grossteils des Strombedarfs, ist überholt. Die Analyse der Stundensimulationen für die künftige Stromversorgung der Schweiz des Verbands der Schweizerischen Elektrizitätswerke (Pöyry/VSE 2012)³⁵, der ETH (2011)³⁶, der Grünen (2012)³⁷ und von Bund/Prognos (2012)³⁸ zeigen alle, dass die Schweiz aufgrund ihrer Wasserkraftwerke hervorragend gerüstet ist für die Integration grosser Mengen von fluktuierender Elektrizität aus neuen erneuerbaren Energien. Das Bild ist überraschend einheitlich (Quelle: Faktenblatt Versorgungssicherheit der Umweltallianz³⁹).

- 6 bis 10 TWh PV-Strom pro Jahr (10 bis knapp 17% des heutigen Strombedarfs) können ohne weitere Anpassungen ins Stromnetz integriert werden.
- 10 bis 12 TWh PV-Strom pro Jahr (20% des heutigen Strombedarfs und E[R]-Szenario-Zielwert für 2025) können ohne zusätzliche saisonale Speicherkapazitäten zum Preis einer geringfügigen Erhöhung des langjährigen Importsaldos der Schweiz integriert werden.

- Mehr als 12 TWh PV-Strom pro Jahr können integriert werden, wenn zusätzliche Anpassungen vorgenommen werden. Es wird eine erhöhte Stromeffizienz im Winter, erhöhte Beiträge von erneuerbaren Energien mit Produktionsspitzen im Winter aus dem In- oder Ausland oder zusätzliche Speicherkapazitäten brauchen, um jederzeit eine sichere Versorgung gewährleisten zu können. **Der Ausbau der Speicher liegt in einem überschaubaren Rahmen und es droht keine Stromlücke im Winter.**

Neben der erwähnten Auswertung der Studien zur Stromversorgungssicherheit haben wir anhand von **detaillierten Simulationen mit realen Wetter- und Verbrauchsdaten** einen Strommix für das E[R]-Szenario erarbeitet, der die Versorgung zu jeder Stunde sicherstellt.

Die Simulationen mit dem Stromversorgungsmodell der Firma Supercomputing Systems SCS zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt im Jahr eine Unterversorgung mit Strom droht. Das Modell verwendet reale, stundengenauere Wetter- und Verbrauchsdaten des Jahres 2010 zur Berechnung der Beiträge von Solar- und Windenergieanlagen. Um auch Aussagen über Sensitivitäten von verschiedenen Wetterphasen machen zu können, wird im Modell zudem der Einfluss des Wetters der Jahre 2003 bis 2012 untersucht.

Tabelle 3.2: Zur Simulation der Versorgung im Jahr 2050 wurden folgende Parameter verwendet⁴⁰

Produktion Thermisch	0,7 TWh/a
Leistung Nuklear/Erdgas	0 GW
Produktion Laufwasser	16,6 TWh/a
Kapazität Saisonspeicher	8,7 TWh/a
Turbinenleistung Saisonspeicher	8,08 GW
Kapazität Pumpspeicher (Unterseen)	0,2 TWh
Turbinenleistung Pumpspeicher	5,00 GW
Pumpenleistung Pumpspeicher	5,00 GW
Leistung Biomasse	1,1 GW
Leistung Geothermie	0,43 GW
Leistung Photovoltaik (ca. 3,3 GW in den Bergen)	16,8 GW
Leistung Wind	2,6 GW
Endverbrauch (Stunden genau aufgelöst)	60 TWh/a
Verschiebbarer Lastenanteil, Batterien	0 GW

referenz

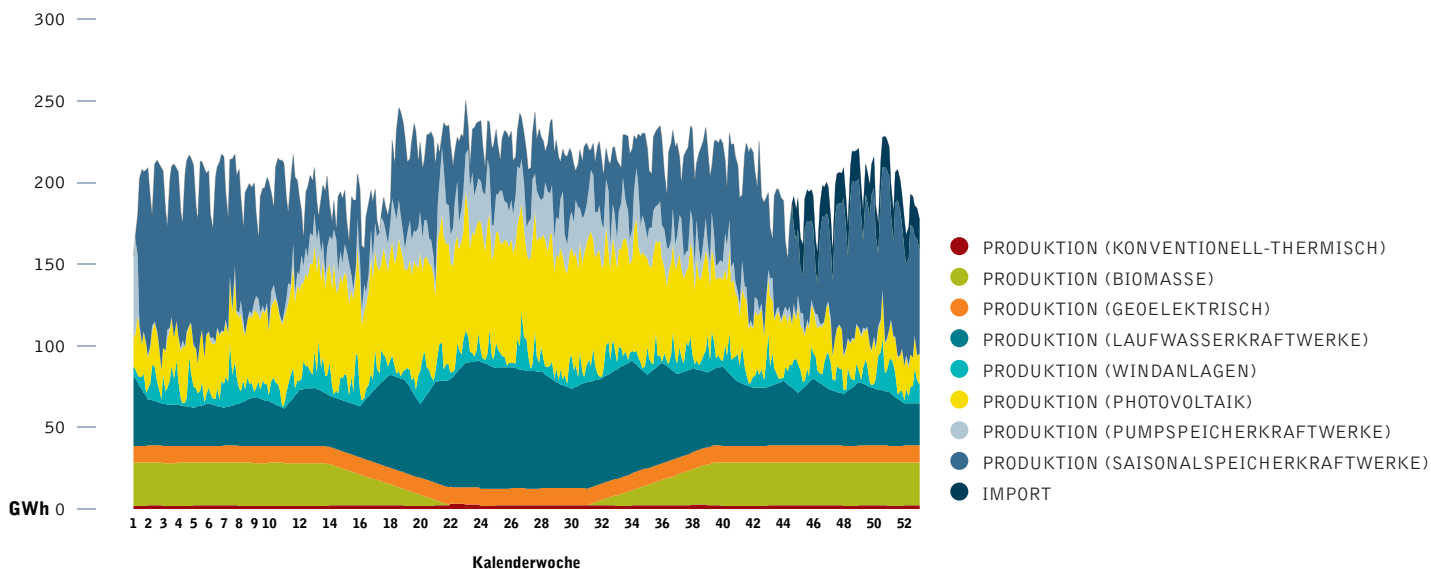
- ³⁵ STUDIE IM AUFTRAG DES VERBANDS SCHWEIZERISCHER ELEKTRIZITÄTSUNTERNEHMEN (VSE) 2012: «ANGEBOT UND NACHFRAGE NACH FLEXIBLEN ERZEUGUNGSKAPAZITÄTEN IN DER SCHWEIZ» [HTTP://WWW.STROM.CH/DE/DOSSIERS/STUDIE-STROMZUKUNFT/STUDIEN.HTML?CHASH=0043EAA8BE87F9BC8FB2E7A323D579B](http://www.strom.ch/de/dossiers/studie-stromzukunft/studien.html?CHASH=0043EAA8BE87F9BC8FB2E7A323D579B)
- ³⁶ STUDIE DER ETH 2011: «ENERGIEZUKUNFT SCHWEIZ» [HTTPS://WWW.ETHLIFE.ETHZ.CH/ARCHIVE_ARTICLES/11114_ENERGIESTUDIE_ROK/ENERGIESTUDIE_DEF](https://www.ethlife.ethz.ch/archive_articles/11114_energiestudie_rok/energiestudie_def)
- ³⁷ BERICHT DER GRÜNEN «ENERGIESTRATEGIE 2050»: [HTTP://WWW.GRUENE.CH/ENERGIESTRATEGIEN](http://www.gruene.ch/energiestrategien)
- ³⁸ BERICHT VON PROGNOS IM AUFTRAG DES BUNDESRAATES 2012: «DIE ENERGIEPERSPEKTIVEN FÜR DIE SCHWEIZ BIS 2050» [HTTP://WWW.BFE.ADMIN.CH/THEMEN/00526/00527/INDEX.HTML?LANG=DE&DOSSIER_ID=05024](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?LANG=DE&DOSSIER_ID=05024)
- ³⁹ ZU BEZIEHEN UNTER [WWW.UMWELTALLIANZ.CH/STROMZUKUNFT](http://www.umweltallianz.ch/stromzukunft)
- ⁴⁰ AUFGRUND UNTERSCHIEDLICHER ANNAHMEN ZU DEN VOLLASTSTUNDEN DER EINZELNEN TECHNOLOGIEN KÖNNEN DIE VERWENDETEN WERTE LEICHT VON DEN WERTEN DER VORHER GEZEIGTEN ZAHLEN ZUR STROMPRODUKTION ABWEICHEN. IM GRUNDSATZ ÄNDERT DAS ABER NICHTS AN DEN ERGEBNISSEN DER SIMULATIONEN.



Die folgende Abbildung zeigt das tagesgenau aufgelöste Energieproduktionsmuster im Jahr 2050. Dabei wurde angenommen, dass die anfallende Biomasse im Sommer zur Winterverstromung gespeichert werden kann. Die

Saisonspeicherwerke werden strategisch so eingesetzt, dass sie eine möglichst unabhängige Winterversorgung ermöglichen. Importe im etwa gleichen Ausmass wie bisher wurden aber dennoch zugelassen.

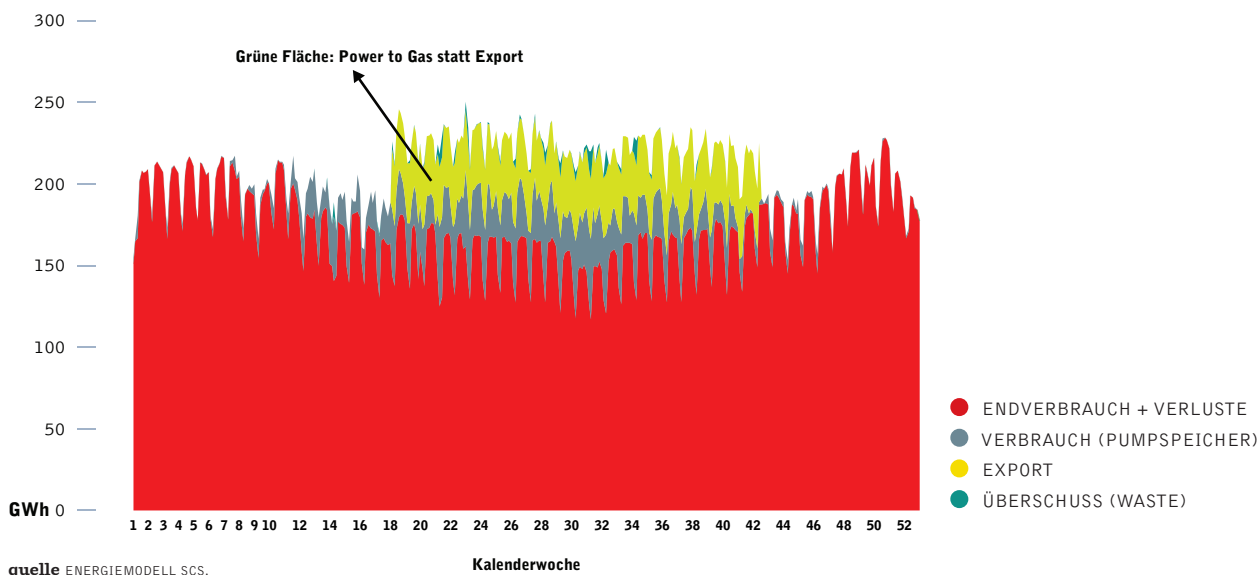
Abbildung 3.7: Stromproduktion im Jahresverlauf 2050 mit dem Strommix des E[R]-Szenarios, gerechnet mit realen Wetterdaten des Jahres 2010 (TAGESAUFLÖSUNG)



Wird der Endverbrauch (inkl. Verluste) in die Simulation integriert, verändert dies die Bilanz wie unten gezeigt. Es resultiert zu keiner Stunde im Jahr eine Unterdeckung – die rote

Fläche ist deckungsgleich mit der Produktionsfläche, wenn keine Überschüsse anfallen.

Abbildung 3.8: Stromkonsum (inkl. Pumpspeicher und Exporte) im Jahresverlauf 2050, hochgerechnet auf der Basis der realen Verbraucherdaten des Jahres 2010 (TAGESAUFLÖSUNG)





Die Berechnungen erfolgten unter der Annahme, dass Massnahmen zur optimalen Winterversorgung ergriffen werden. Ein Viertel der Solaranlagen wird in den Bergen realisiert, die Biomasse wird hauptsächlich im Winter verstromt und die Pumpspeicherkapazitäten werden für die Integration erneuerbarer Energien verwendet.

Die Bilanz zeigt in der oben gezeigten Tagesauflösung ebenso wie in der berechneten Stundenauflösung, dass der Strombedarf mit dem Strommix des E[R]-Szenarios zu jedem Tages- und Jahreszeitpunkt gedeckt werden kann. Die folgenden Abbildungen zeigen je eine exemplarische Sommer- und Winterwoche in der Stundenauflösung.

Die Stundensimulation für den Sommer zeigt ein neues Phänomen, wenn keine weiteren Speicher als die Pumpspeicherwerke in der Modellierung implementiert werden: Wegen der relativ hohen Solaranteile müssten die Pumpspeicherwerke im Sommer am Tag mit voller Leistung Solarstrom aufnehmen (blaue Flächen über der Endverbrauchskurve) und diesen in der Nacht wieder verkaufen, wenn kein Strom vernichtet werden soll (violette Kurve). Ein solcher Export ist unwahrscheinlich, weswegen wir eine Alternative vorschlagen: Ein Teil der überschüssigen Leistungen am Tag kann kurzfristig mit Pumpspeichern oder lokalen Strom- oder Wärmespeichern für die Nacht gespeichert und dann direkt wieder verbraucht werden (1–2 GW). So kann insbesondere im Herbst, wenn die Solaranteile noch hoch sind, der Beginn der Entleerung der Speicherseen nach hinten verschoben werden (Load-Shifting).

Um die Suche nach einer Exportmöglichkeit zu vermeiden, müssen langfristig zusätzlich zu den Pumpspeichern **andere Speicher zum Einsatz kommen, welche die nicht benötigten Tagesspitzen aufnehmen**. Solche Speicher müssen die Stromüberschüsse, die in der Nacht nicht verbraucht werden, für Nicht-Strom-Anwendungen verfügbar machen oder gewisse Strommengen vom Sommer in den Winter verlagern können. Wie oben beschrieben wird im E[R]-Szenario **Wasserstoff produziert (Power to Gas)** und primär dort eingesetzt, wo eine Substitution der fossilen Energieträger mit Elektrizität nur begrenzt möglich ist. Nur ein Bruchteil davon wird für Leistungsreserven bereitgehalten und rückverstromt (2050 rund 0,7 TWh, was 1% der Produktion entspricht). Insgesamt werden in Zukunft Strom, Wärme und Verkehr viel enger integriert als heute.

Das Power-to-Gas-Verfahren wird bereits erprobt (siehe Kasten «Windgas» auf Seite 22) und ist aus heutiger Sicht einsetzbar. Es können grössere Strommengen aufgenommen, als Wasserstoff oder synthetisches Methan gespeichert und später für Wärme, Verkehr oder Stromanwendungen wieder zur Verfügung gestellt werden. Für das Schweizer E[R]-Szenario wurde angenommen, dass langfristig Elektrolyseure mit einer Leistung von 2,5 GW und einer Betriebsdauer von rund 4000 Volllaststunden eingesetzt werden, um den im Verkehr und in der Industrie benötigten Wasserstoff herzustellen.

Abbildung 3.9: Stromproduktion in einer Sommerwoche des Jahres 2050 in Stundenauflösung

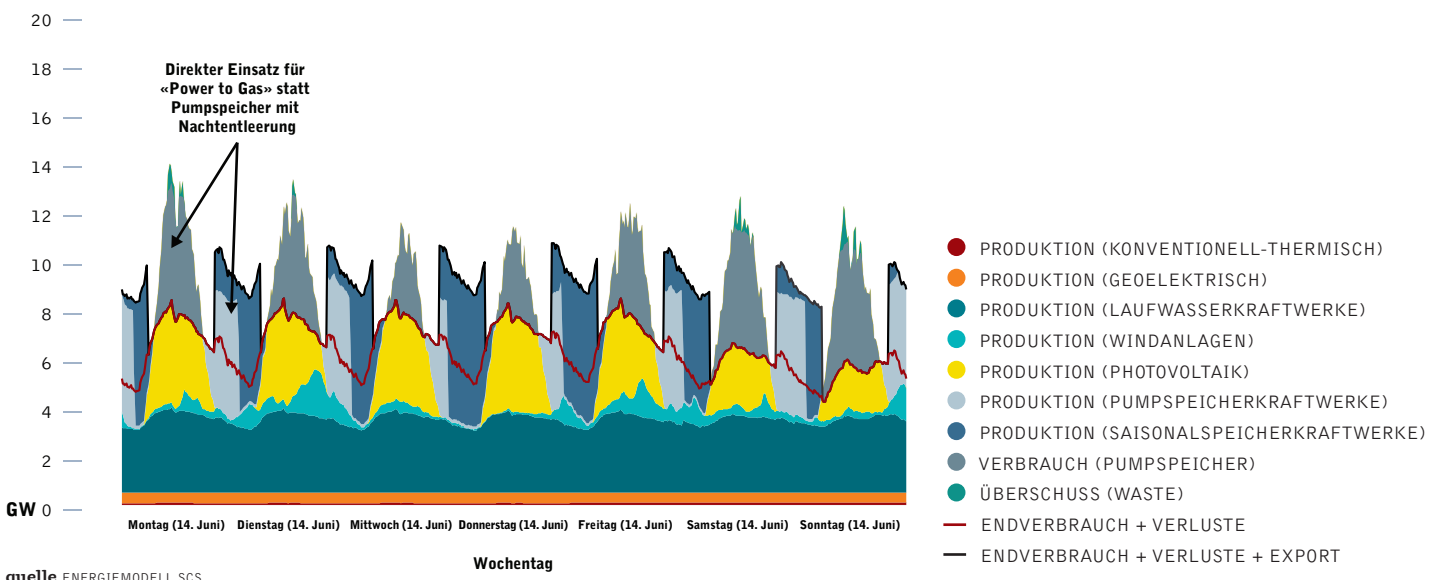
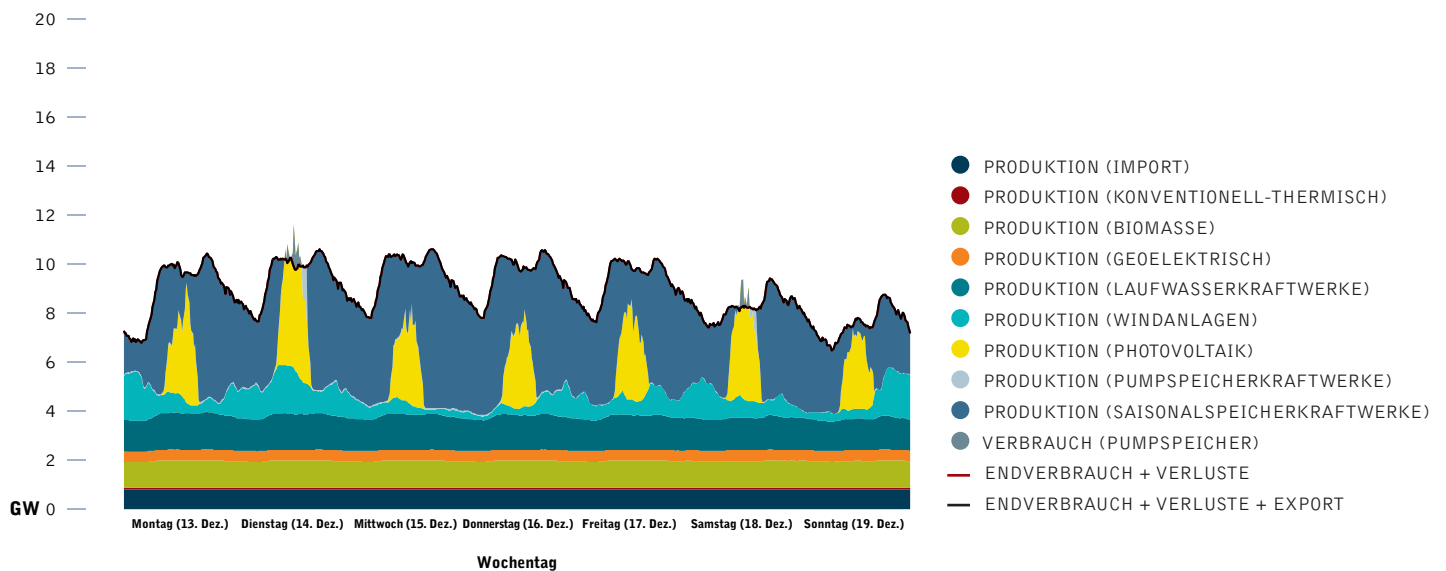


Abbildung 3.10: Stromproduktion in einer Winterwoche im Jahr 2050 in Stundenaufösung



quelle ENERGIEMODELL SCS.

Die Situation im Winter stellt eine geringere Herausforderung dar, wie die obere Abbildung zur Stromproduktion im Jahresverlauf und die folgende Auswertung einer exemplarischen Winterwoche zeigen.

Aus der Abbildung geht hervor, dass ein geringer Importanteil zugelassen wurde. Das Anstreben einer autarken Versorgung anzustreben ist prinzipiell möglich, wird aber nicht als sinnvoll erachtet, weil dafür ein weiterer Ausbau der fluktuierenden erneuerbaren Energien nötig wäre. Was wiederum die Überschussituation im Sommer akzentuiert. In der Simulation werden die Importe vor allem in den Monaten Oktober, November und Dezember eingesetzt, um die Entleerung der Speicherseen möglichst weit in den Frühling und die beginnende Schneeschmelze hinauszuschieben. So wäre die Schweiz bestens gerüstet, um längere Zeiten ohne Stromimporte überstehen zu können.

In den Jahresbilanzen des E[R]-Szenarios haben wir **keine Stromautarkie** unterstellt, sondern Importe zugelassen. 2050 werden netto rund 7 TWh importiert. Die Modellrechnungen von SCS zeigen aber, dass bei einem auf Autarkie hin optimierten System auch ohne Nettoimporte gewirtschaftet werden könnte. Die Sensitivitätsanalyse anhand von Wetterdaten der Jahre 2003 bis 2012 belegt, dass in fast allen Situationen ein Exportpotenzial bestehen bleibt.

bild EIN STURM, GEFOLGT VON EINER ÜBERSCHWEMMUNG LEGTE DEN ZUGVERKEHR IN INTERLAKEN LAHM.



Mit dem E[R]-Strommix und einem strategischen Einsatz der Speicherseen zur Winterversorgung kann eine sehr grosse Unabhängigkeit erreicht werden. Unterdeckungen können vermieden werden. Der Füllstand der Speicherseen erreicht nie ein kritisch tiefes Niveau, wie die folgende Abbildung für das Jahr 2050 verdeutlicht.

Mit dem SCS-Modell wurden auch andere Szenarien untersucht. Die Resultate können auf www.scs.ch⁴¹ nachgelesen werden. Sie zeigen alle ein ähnliches Bild mit dem **Fazit: Ein 100% erneuerbarer Strommix kann die Versorgungssicherheit gewährleisten.**

3.4 Die Entwicklung der Wärmeversorgung

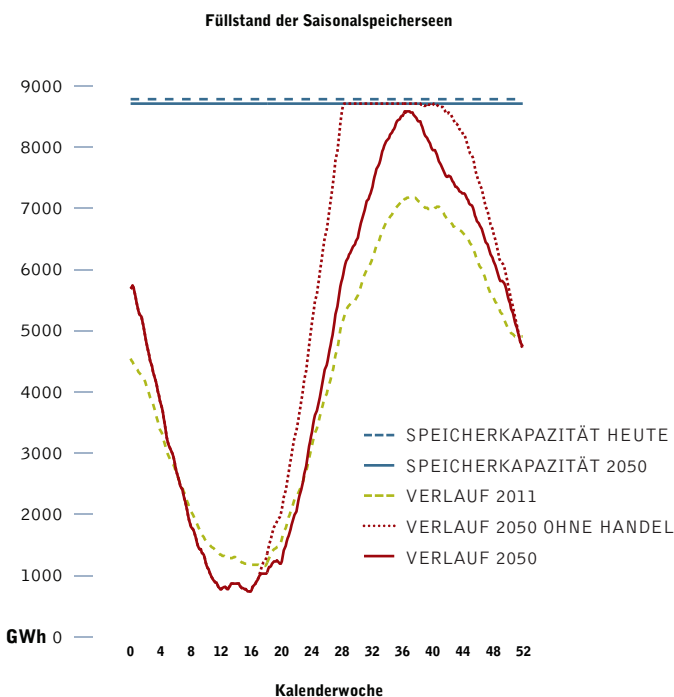
Die Wärmeversorgung, die heute zu knapp 75% auf fossilen Energien beruht, muss für das Erreichen der Klimaziele fossilfrei werden. Im Energy-[R]evolution-Szenario tragen fossile Energien im Jahr 2050 nur noch 3% zur Wärmeversorgung bei. Für das Erreichen der Ziele spielen Effizienzmassnahmen – vor allem die forcierte Sanierung des Gebäudebestandes, wie sie im NEP-Szenario des Bundes vorgesehen ist – die Hauptrolle. Der verbleibende Wärmebedarf wird zunehmend mit erneuerbaren Energieträgern und Wärmepumpen gedeckt, die mit Hilfe von erneuerbarem Strom die Umweltwärme nutzen.

Erneuerbare Energien (inkl. Elektrizität aus erneuerbaren Energien im Wärmebereich) decken 2010 rund 21% des Wärmebedarfs in der Schweiz, wobei einheimisches Holz den grössten Beitrag leistet. Im E[R]-Szenario steigt der Anteil aus erneuerbaren Energien auf 44% im Jahr 2025, auf 66% im Jahr 2035 und auf 97% im Jahr 2050. Der nicht erneuerbare Anteil stammt zum Teil aus der Abfallverwertung und zum Teil aus einem kleinen Rest fossiler Energien.

Die Nutzung der Erdwärme mit Hilfe von Wärmepumpen (mit erneuerbarem Strom betrieben) sowie die Nutzung der Solarthermie spielen eine entscheidende Rolle für die Ablösung der fossilen Energieträger. Wegen der Anforderungen des Klimaschutzes geht das E[R]-Szenario hier weiter als die beiden Bundesszenarien.

Wesentliche Unterschiede zum NEP-Szenario sind der forcierte Einsatz der Erdwärme und die gesteigerte Effizienz der Wärmepumpen. Die Nutzung der Erdwärme liegt im E[R]-Szenario im Jahr 2050 rund 2,6-mal so hoch wie im NEP-Szenario und etwa 2,3-mal so hoch wie im POM-Szenario. Damit die Jahresarbeitszahl – wie im E[R]-Szenario vorausgesetzt – 2050 im Durchschnitt 4 (statt 3,3 wie in den Bundesszenarien) erreicht, sind Vorgaben für die jeweilige Mindesteffizienz unerlässlich. Neben Effizienzvorgaben für die Umweltwärmenutzung sind Konzepte mit einer zusätzlichen Speicherung von solarer Wärme im Untergrund oder sonstigen Speichern mit entsprechenden Kapazitäten (z.B. Eisspeichern) besonders geeignet, die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen zu steigern.⁴²

Abbildung 3.11: Füllstand der Saisonalpeicherseen im Stromszenario der Energy-[R]evolution



quelle ENERGIEMODELL SCS.

Bei der Solarthermie setzt das E[R]-Szenario im Jahr 2050 rund 50% mehr als das NEP- und 150% mehr als das POM-Szenario ein. Gemäss Berechnungen des Branchenverbandes Swissolar sind für die E[R]-Ausbauziele rund 2 Quadratmeter Kollektoren pro Kopf nötig.

Beim E[R]-Szenario fällt der erhöhte Einsatz von Wasserstoff im Wärmebereich auf. Er wird wegen der limitierten Biomasse-Potenziale dort benötigt, wo nach heutigem Wissen eine Substitution fossiler Energieträger mit Elektrizität nicht sinnvoll ist (Hochtemperatur-Prozesse).

Tabelle 3.3 zeigt die Entwicklung der erneuerbaren Heiztechnologien in der Schweiz im zeitlichen Verlauf. Ab 2020 verringert sich die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen dank dem beständigen Wachstum bei den Sonnenkollektoren und einem wachsenden Anteil Energie aus Wärmepumpen zur effizienten Nutzung der Erdwärme. Im Industriebereich ersetzen Sonnenkollektoren in Kombination mit Erdwärme (Wärmepumpen), Strom aus erneuerbaren Quellen und zum Teil auch Wasserstoff zunehmend Anlagen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden. Hier sind die Unterschiede der drei Szenarien sehr deutlich.

Im Vergleich zum Referenzszenario POM liegt die resultierende Wärmeversorgung um 11% tiefer, im Vergleich zum NEP-Szenario um rund 6% höher. Der Unterschied zwischen NEP und E[R] geht vor allem auf unterschiedliche Annahmen für die Umwandlungseffizienzen in der Wärmebereitstellung und nicht auf unterschiedliche Effizienzziele zurück.

Für die umfangreiche Nutzung von Erdwärme und thermischer Solarenergie ist der Ausbau und verstärkte Einsatz von

regionalen Fernwärmenetzen und Grossspeichern wichtig. Beim Ausbau von Fernwärmenetzen sind Effizienzanstrengungen bei Gebäuden, die den Wärmebedarf verringern und damit die Dimensionierung von Fernwärmenetzen beeinflussen, von Anfang an mit zu berücksichtigen.

Der direkt eingesetzte Strom im Wärmesektor (ohne Wärmepumpen) wird vor allem für Zusatzheizungen in Speichern benötigt. Diese sind in der Lage, erneuerbare Stromüberschüsse gezielt zu nutzen und als Wärme zu speichern.

Tabelle 3.3: Entwicklung der Wärmeversorgung im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario IN PJ

		2010	2020	2030	2040	2050
Biomasse	POM	40	43	46	43	39
	E[R]	40	43	40	35	29
Solarthermie	POM	2	4	8	12	15
	E[R]	2	7	20	34	39
Geothermie (inkl. WP)	POM	18	32	46	53	53
	E[R]	18	39	74	107	123
Elektrizität*	POM	31	30	26	23	19
	E[R]	31	29	23	19	18
Wasserstoff*	POM	0	0	0	0	0
	E[R]	0	0	1	9	14
Total	POM	91	108	126	130	126
	E[R]	91	118	159	203	222

* erneuerbarer Anteil

Abbildung 3.12: Entwicklung der Wärmeversorgung – die beiden Bundesszenarien POM und NEP im Vergleich mit der Energy [R]evolution⁴³



referenz
43 ABWEICHUNGEN DER ZAHLEN IN DEN BUNDESSZENARIEN VON DEN OFFIZIELL PUBLIZIERTEN ZAHLEN KÖNNEN AUS UNTERSCHIEDLICHEN INPUT-DATEN FÜR DAS AUSGANGSJAHR 2010 (IEA-STATISTIK VS. BFE-ENERGIESTATISTIK VS. PROGNOSE-WERTE) UND ABWEICHENDEN UMWANDLUNGSEFFIZIENZEN FÜR DIE WÄRMEBEREITSTELLUNG (NUTZENERGIE) RESULTIEREN.

bild WINDKRAFTANLAGE IN DER SCHWEIZ.

bild MONTAGE DER DAMALS GRÖSSTEN PHOTOVOLTAIK AUF-DACH-ANLAGE IN DER DEUTSCHEN SCHWEIZ MIT FREIWILLIGEN VOM GREENPEACE.



3.5 Die Entwicklung im Verkehrsbereich

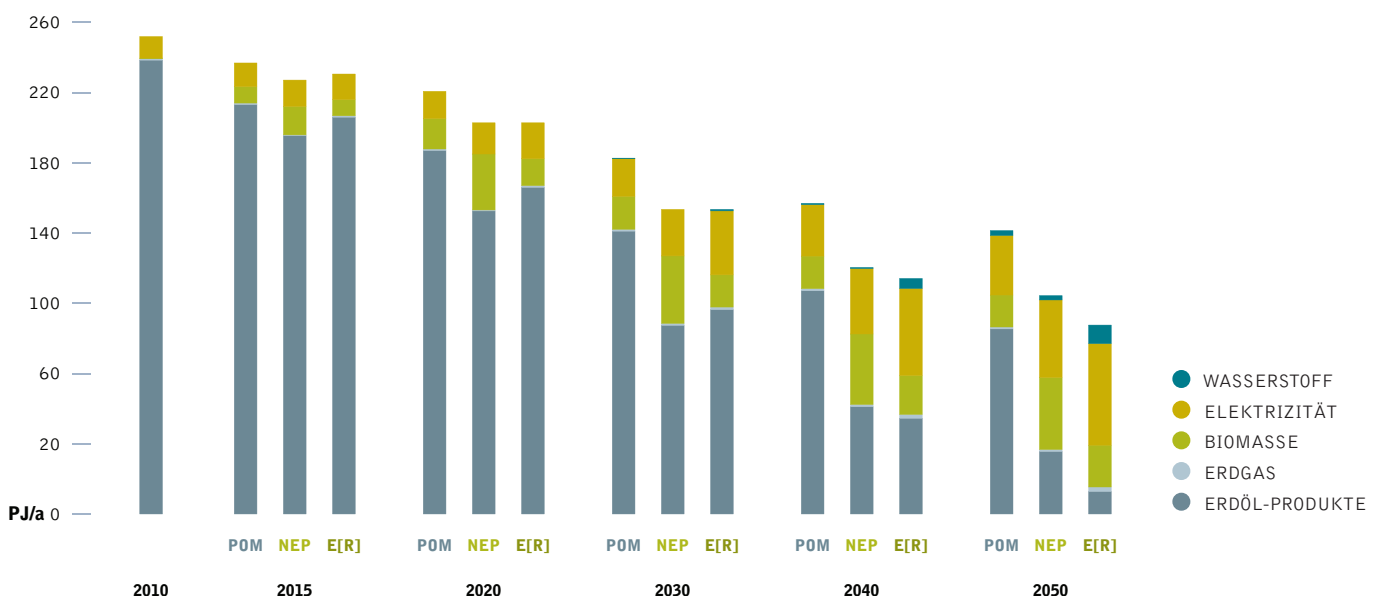
Neben der Stabilisierung der Verkehrsleistungen und der Veränderung des Modalsplits (Verteilung des Verkehrsaufkommens auf verschiedene Verkehrsmittel) in Richtung ressourceneffiziente Fortbewegung (Fuss- und Veloverkehr, elektrifizierte Kleinvehikel und kollektive Verkehrsmittel) werden mittelfristig beim motorisierten Individualverkehr hocheffiziente Antriebstechnologien mit Hybrid-, Plug-in-Hybrid- und batterieelektrischen Antriebssystemen erhebliche Effizienzgewinne bringen. Bis 2030 wird erneuerbare Elektrizität im E[R]-Szenario 21% des Energiebedarfs im Verkehrssektor liefern, bis 2050 mit 54% mehr als die Hälfte. In absoluten Zahlen wird der Stromverbrauch im Verkehrssektor von heute 11 PJ/a auf 54 PJ/a (15 TWh/a) steigen, was rund 25% des Strombedarfs im Jahr 2050 entspricht.

Der Einsatz von Biomasse im Verkehrssektor wird im E[R]-Szenario wegen der limitierten nachhaltig nutzbaren Potenziale und der verstärkten Biomassenutzung im Elektrizitätsbereich begrenzt und liegt durchwegs tiefer als im NEP-Szenario des Bundes. Der forcierte Biomasseinsatz im NEP (ab 2015 rund doppelt so hoch als bei E[R]) ist auch der Grund, weswegen der Einsatz fossiler Ressourcen bis 2030 tiefer liegt als im

E[R]-Szenario. Ab 2030 fällt die Elektrifizierungsstrategie des Greenpeace-Szenarios immer stärker ins Gewicht, sodass der Anteil fossiler Energien 2050 bei etwa einem Achtel des POM- und etwa einem Drittel des NEP-Szenarios liegt. Der Elektrizitätseinsatz liegt im E[R]-Szenario 2050 rund 30% höher als im NEP- und knapp 70% höher als im POM-Szenario. Der Bedarf nach einem Energieträger mit hoher Energiedichte für die Bereiche, in denen fossile Energieträger nach heutigem Wissensstand nicht durch Elektrizität ersetzt werden können, bleibt bestehen. Deshalb wird im E[R]-Szenario vermehrt Wasserstoff eingesetzt.

Tabelle 3.4 zeigt die Entwicklung des Energieeinsatzes je Verkehrsträger. Auffallend ist vor allem der starke Rückgang des Endenergieverbrauchs für den Verkehr auf der Strasse. Dies wird neben der auch in den Bundesszenarien vorausgesetzten Stabilisierung der Verkehrsleistungen einerseits durch gesteigerte Effizienzvorgaben (Zielsetzungen beim CO₂-Ausstoss), andererseits durch die deutlich höhere Effizienz der Elektromotoren erreicht. Der Energieverbrauch des Schienenverkehrs steigt um über 40%. Dies ist – ähnlich wie in den Bundesszenarien – auf die schon laufenden Ausbauprogramme der Schweizer Bahninfrastruktur (NEAT, ZEB) und die diskutierten weiteren Bahninfrastruktur-Ausbauprogramme (FABI und STEP) zurückzuführen (weitere Angaben: Prognos 2012, S. 75 ff.).

Abbildung 3.13: Entwicklung des Endenergieverbrauchs im Verkehrssektor nach Energieträgern – die beiden Bundesszenarien POM und NEP im Vergleich mit dem E[R]-Szenario



3 Resultate: Eine echte Energiewende für die Schweiz

Tabelle 3.4: Entwicklung der Energienachfrage im Verkehrssektor nach Verkehrsträgern im Referenzszenario POM und im E[R]-Szenario IN PJ/a

		2010	2020	2030	2040	2050
Schiene	POM	12	14	15	15	15
	E[R]	12	16	17	18	17
Strasse	POM	236	205	169	145	130
	E[R]	236	187	139	103	78
Flugverkehr Inland	POM	3,5	3,4	3,4	3,3	3,2
	E[R]	3,5	3,4	3,3	3,1	3,0
Schiffsverkehr Inland	POM	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4
	E[R]	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1
Total	POM	253	224	188	164	150
	E[R]	253	207	161	125	100

Der Verkehrssektor ist entscheidend, wenn es um die Einhaltung der Klimaschutzziele geht. Im Jahr 2010 stammten rund 39% der energiebedingten CO₂-Emissionen aus dem Verkehrssektor. Hier wurden auch rund 30% des Endenergiebedarfs verbraucht. Im E[R]-Szenario nimmt der Treibhausgasausstoss bis 2050 im Vergleich zu 2010 um mehr als 94% ab. Trotzdem wird der Anteil des Verkehrssektors an den Gesamtemissionen steigen: Im Jahr 2050 werden knapp 55% der CO₂-Emissionen vom Verkehr stammen. (Mehr Informationen zur Veränderung des Verkehrssektors sind in Kapitel 4, Seiten 48ff zu finden).

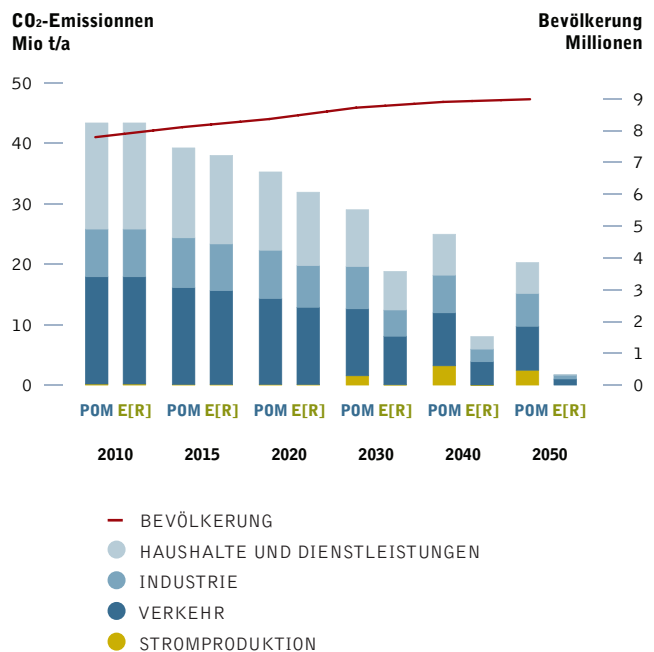
3.6 Entwicklung der CO₂-Emissionen

Während die CO₂-Emissionen der Schweiz im Referenzszenario zwischen 2010 und 2050 um 53% sinken, fallen sie im E[R]-Szenario von 43 Mio. Tonnen bzw. 5,6 Tonnen pro Kopf im Jahr 2010 auf rund 1,8 Mio. Tonnen respektive 0,2 Tonnen pro Kopf im Jahr 2050. Damit liegen die energiebedingten CO₂-Emissionen der Schweiz 2050 rund 96% tiefer als 1990.

Wie im Kapitel 1 zur Klimapolitik beschrieben, ist eine derartige Reduktion der energiebedingten CO₂-Emissionen im Inland notwendig, um eine Stabilisierung der Klimaerwärmung auf maximal 2°C zu erreichen. Zusammen mit den weiteren, nicht energiebedingten Treibhausgasemissionen können wir so ein Niveau von etwa einer Tonne CO₂-Äquivalente pro Kopf erreichen. In diesem Punkt unterscheidet sich das Greenpeace-Szenario von allen anderen Gesamtenergieszenarien für die Schweiz.

Im Vergleich mit anderen Gesamtenergieszenarien für die Schweiz ist die Energy [R]evolution das einzige Szenario mit einer Emissionsabsenkung von über 95% bis 2050. Damit zeigen wir, dass und wie der Schweizer Energiesektor in dreieinhalb Jahrzehnten praktisch CO₂-frei werden kann.

Abbildung 3.14: Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen nach Sektoren



Für die Eindämmung der Klimaerwärmung auf maximal 2°C bei einer gleichzeitigen Verbesserung der Lebenssituation der vielen in Armut lebenden Menschen (rund 1 Milliarde leben von weniger als 1 Dollar pro Tag) müssen wohlhabende Länder wie die Schweiz bis 2050 ihre CO₂-Emissionen praktisch vollständig eliminieren und gleichzeitig eine CO₂-arme Entwicklung in sich entwickelnden Ländern unterstützen. Aus Sicht von Greenpeace erfordert die Idee der globalen Gerechtigkeit mindestens, dass ab dem Zeitpunkt der allgemeinen Erkenntnis der negativen Folgen des Treibhauseffekts (ca. 1990) alle Menschen das Anrecht auf den gleichen Anteil des verbleibenden Emissionsbudgets haben. Für die Schweiz heisst das, dass die Emissionen bis 2050 um mehr als 100% gesenkt werden müssen⁴⁴ (Kapitel 1 geht ausführlich auf die Klimaproblematik ein). Andere Berechnungsansätze, die von einer fairen Verteilung des verbleibenden CO₂-Emissionsbudgets ausgehen, kommen auf ähnliche Resultate.

Die folgende Gegenüberstellung der CO₂-Reduktionen in verschiedenen Gesamtenergieszenarien für die Schweiz zeigt, dass die Möglichkeiten von CO₂-Reduktionen in den kommenden Jahren im E[R]-Szenario eher unterschätzt werden. Im NEP-Szenario wird 2020 eine Absenkung von rund 27% erreicht, gemäss den wissenschaftlich abgestützten Forderungen von Greenpeace und den Umweltverbänden sollte bis 2020 eine 40%-Reduktion angestrebt werden.

referenz

⁴⁴ GEWISSE GERECHTIGKEITSTHEORIEN GEHEN NOCH WEITER UND FORDERN, DASS DER REICHTUM DER SCHWEIZ BEI DER BERECHNUNG DES GERECHTEN BEITRAGS BERÜCKSICHTIGT WERDEN MUSS.



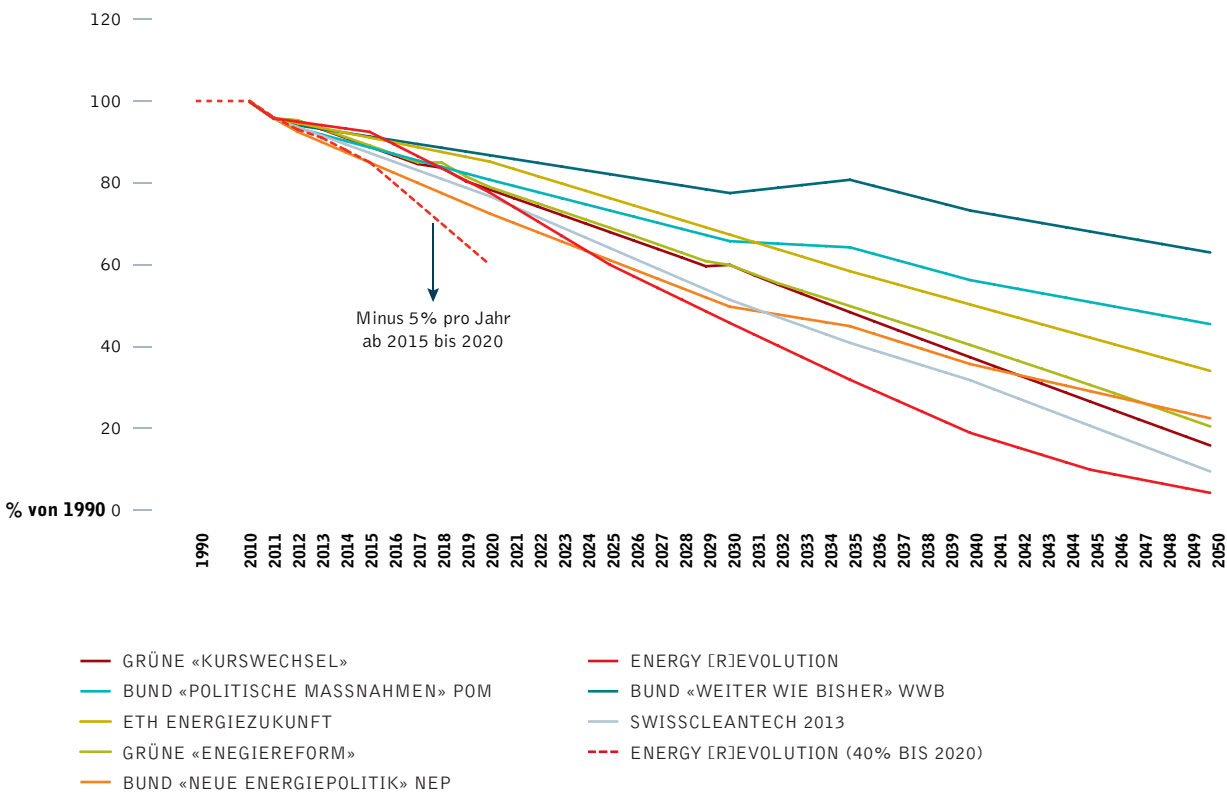
Im Wissen, dass im CO₂-Gesetz aktuell nur eine 20%-Absenkung verankert ist, haben wir uns entschieden, für das E[R]-Szenario mit 22% bis 2020 den minimal erreichbaren Fall zu zeigen. **Erst ab 2020 wird eine ambitioniertere Absenkungsstrategie implementiert**, gemäss der 2025 eine Reduktion von 40%, 2030 eine Reduktion von 55% und 2050 eine Reduktion von 96% erreicht wird. Die Szenarien der Grünen sowie das NEP-Szenario des Bundes rechnen mit einer Absenkung von etwa 80% bis 2050. Die Energiestrategie von Swis cleantech zeigt wie eine Absenkung von 90% erreicht werden kann.

In der Summe der Jahre 2010 bis 2050 betragen die CO₂-Emissionen im E[R]-Szenario 817 Mio. Tonnen. Eine stärkere Reduktion des Gesamtbudgets kann vor allem dann erreicht werden, wenn in den jetzt bevorstehenden Jahren stärker abgesenkt wird, weil in den späteren Jahren auf dem dann bereits tieferen Emissionsniveau die absoluten CO₂-Emissionen nicht mehr so stark ins Gewicht fallen.

Eine 40%-Absenkung bis 2020 bringt gegenüber der 22%-Absenkung im Zeitraum 2010–2020 eine Einsparung von rund 35 Mio. Tonnen CO₂. Wird eine solcherart ambitioniertere Reduktion bis ins Jahr 2050 fortgesetzt, kann ein Mehrfaches eingespart werden.

In der Szenario-Variante «Suffizienz», die den Einfluss einer Stabilisierung von Wohnflächen und Verkehrsleistungen auf dem Niveau von 2010 untersucht, kann eine leicht verstärkte Absenkung erreicht werden. In der Summe der Jahre 2010–2050 können rund 40 Mio. Tonnen CO₂-Emissionen eingespart werden.

Abbildung 3.15: Vergleich der Entwicklung der energiebedingten CO₂-Emissionen (ohne internationalen Flugverkehr) in acht Gesamtenergieszzenarien für die Schweiz



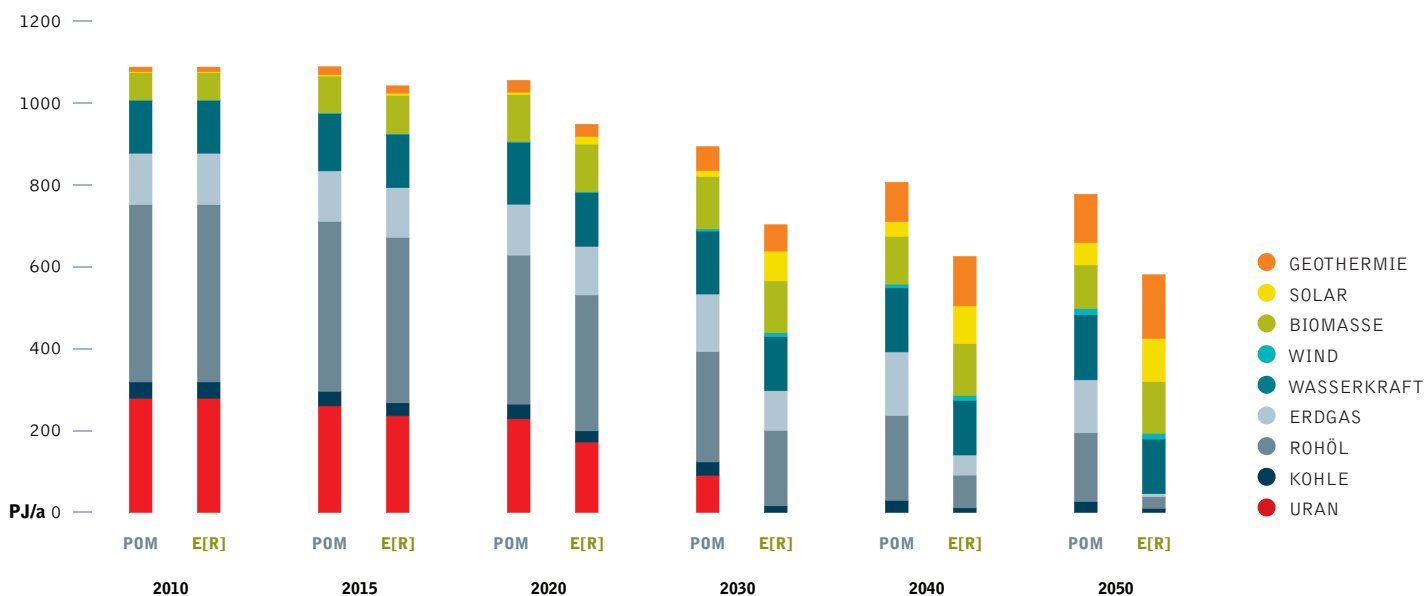
3.7 Entwicklung des Primärenergieverbrauchs

Berücksichtigt man die oben besprochenen Annahmen, führt das E[R]-Szenario zum in Abbildung 3.16 dargestellten Verlauf des inländischen Primärenergieverbrauchs. Im E[R]-Szenario sinkt der Primärenergieeinsatz um 47% gegenüber dem heutigen Wert von 1087 PJ/a auf 580 PJ/a. Verglichen mit dem Referenzszenario POM des Bundes wird die Primärenergienachfrage im E[R]-Szenario im Jahr 2050 um 25% zurückgehen (POM: 777 PJ im Jahr 2050).

Die Energy [R]evolution verfolgt das Ziel, fossile und nukleare Brennstoffe so schnell zu eliminieren, wie dies technisch und wirtschaftlich machbar ist. Möglich wird dies in erster Linie durch starke Effizienzsteigerungen im Wärme-, Strom- und Verkehrssektor sowie durch den raschen Ausbau der erneuerbaren Energien. Das führt insgesamt zu einem regenerativen Primärenergieanteil von 59% im Jahr 2030 und 92% im Jahr 2050. Der Atomausstieg erfolgt noch vor 2025.

Abbildung 3.16: Entwicklung des inländischen Primärenergie-Einsatzes nach Energieträgern

(OHNE BERÜCKSICHTIGUNG VON STROMIMPORTEN)



3 Resultate: Eine echte Energieende für die Schweiz

Die Energy [R]evolution verändert die Energieversorgungsstrukturen

DIE ENERGIEZUKUNFT IST DEZENTRAL UND VERNETZT

SIND KAPAZITÄTSMÄRKTE EINE LÖSUNG IM VERÄNDERTEN STROMMARKT?

DIE ENERGIEWENDE VERÄNDERT DEN VERKEHRSEKTOR

FALLSTUDIE: DEUTSCHLAND MITTEN IN DER ENERGIEWENDE

DAS EIRJ-SZENARIO IM VERGLEICH MIT ANDEREN SZENARIEN UND DER REALITÄT



4

« Unternehmen können Beschleuniger des Wandels sein – mit technologischen Innovationen und neuen Geschäftsmodellen.» »

bild SICHT AUF DEN ALETSCH-GLETSCHER IM DEN BERNER ALPEN.

Eine ökologisch ausgerichtete Energieversorgung wirkt sich stark auf die Infrastruktur aus und braucht deshalb neue energiewirtschaftliche Regelungen. Dabei sind die Stromversorgung und der Verkehrssektor aufgrund der umfassenden Transformationen von besonderem Interesse. Elektrizität wird künftig im Wärme- und Verkehrsbereich eine entscheidende Rolle übernehmen: im direkten Einsatz für Wärmepumpen und Elektromobile, aber auch als Energieträger für die Produktion von Wasserstoff. Deshalb geht es bei den Auswirkungen in erster Linie um die Elektrizitätsinfrastrukturen und um das optimale Management von Stromproduktionsanlagen und des Stromverbrauchs.

Für die Energiewende ist weiter der Umstand zentral, dass AKW-Grundlastkraftwerke vom Netz gehen, um Platz für fluktuierend produzierte erneuerbare Energien zu schaffen. Nicht regelbare Grundlastkraftwerke und fluktuierende erneuerbare Energien sind nur begrenzt kompatibel, da sie teilweise überlappende Produktionszeiten aufweisen. Wenn die Politik hier nicht vorausschauend die Weichen stellt, kommt es entweder zu einer Stromschwemme mit negativen betriebswirtschaftlichen Folgen für alle Akteure oder dann bleibt der Ausbau der erneuerbaren Energien auf der Strecke, was aus Vollkosten- und ökologischer Sicht die schlechtere Option ist. Letzteres könnte sogar dazu führen, dass wider besseres Wissen Gaskraftwerke reklamiert werden – der Todesstoss für echten Klimaschutz. Die Investoren werden zurückhaltend bleiben, solange nicht klar ist, bis wann welche Atomstrommenge ersetzt werden muss.

Wer glaubt, eine Energy [R]evolution sei nicht realistisch oder man könne den Klimawandel nicht mehr begrenzen, findet am Schluss dieses Kapitels zuversichtlich stimmende Angaben. Am Beispiel von Deutschland wird ausgeführt, wie schnell der Ausbau der erneuerbaren Energien unter stimmigen Rahmenbedingungen realisiert werden kann. Aufgezeigt wird auch, wie gut die bisherigen Szenarien der Energy [R]evolution und von anderen renommierten Instituten die reale Entwicklung der neuen erneuerbaren Energien bis 2012 getroffen haben. Die effektive Entwicklung der Photovoltaik wurde sogar unterschätzt, sie liegt aber sehr nah bei der tatsächlichen Entwicklung. Das zeigt anschaulich, wie die Gesellschaft die Energiewirtschaft mit konkreten Rahmenbedingungen und Entscheidungen prägen kann.

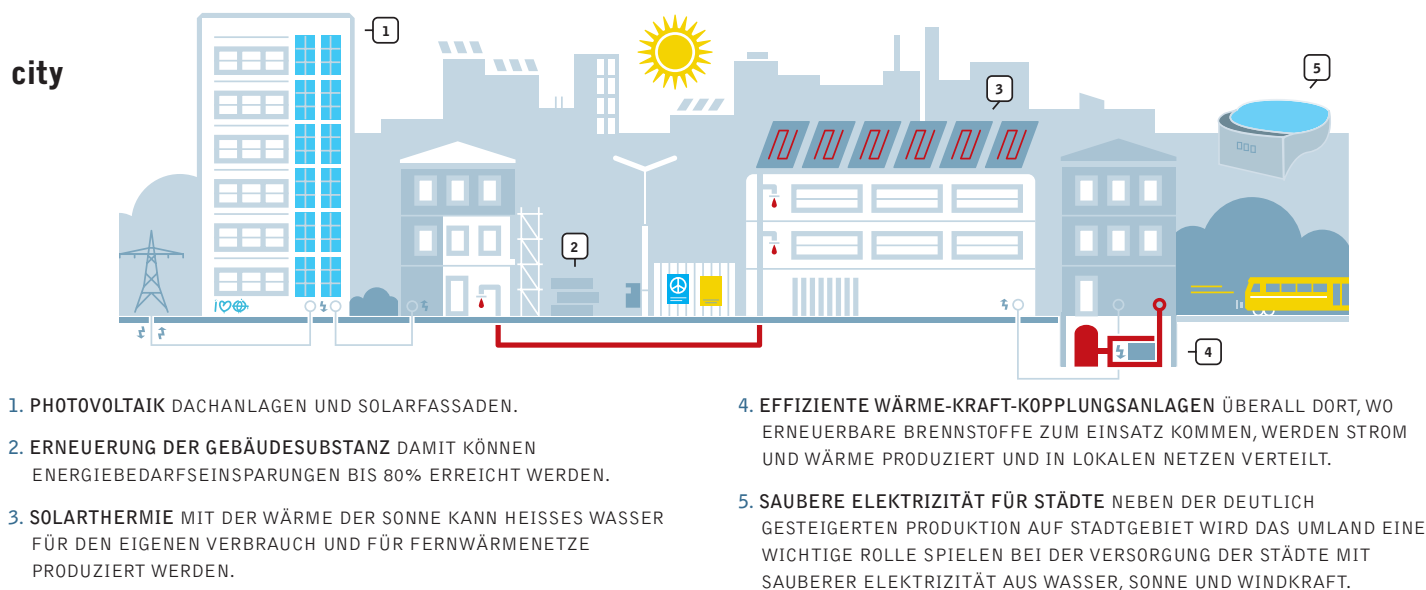
4.1 Die Energiezukunft ist dezentral und vernetzt

4.1.1 Dezentrale Strukturen für die Energiewende

Die im E[R]-Szenario gezeichnete Entwicklung basiert auf einem dezentral vernetzten Energiesystem. Mit Ausnahme der Wasserkraft werden die Produktionsanlagen für Strom und Wärme in Zukunft nahe bei den Verbrauchern stehen. Um die Stabilität im System zu erhöhen, werden Verbraucher und Produzenten auf der Ebene der Verteilnetze regional über smarte Mikrogrids verknüpft und diese werden wiederum überregional auf der Ebene der Übertragungsnetze miteinander verbunden. Supergrids kommen zum Einsatz, um die europaweite Vernetzung der erneuerbaren Energien auf der Ebene der Höchstspannungsnetze verlustarm zu sichern.

Abbildung 4.1: Die dezentrale Energiezukunft

IN DER DEZENTRALEN ENERGIEZUKUNFT WERDEN STROM UND WÄRME NAHE BEI DEN VERBRAUCHERN PRODUZIERT UND DAS ZUSAMMENSPIEL ZWISCHEN STADT UND LAND WIRD OPTIMIERT.





4.1.2 Dezentrale Strukturen verringern Übertragungsverluste

Der Umbau der Energieversorgung bringt im Strombereich Effizienzgewinne, weil die bisherige, auf Grosskraftwerken basierende Versorgungskette grosse Verluste aufweist.

Weltweit bestehen die meisten Stromnetze aus zentralen Grosskraftwerken, die über Hochspannungswechselstromleitungen und kleinere Verteilnetze mit den Endverbrauchern verbunden sind. Das Modell des zentralisierten Netzes wurde vor etwa 60 Jahren entwickelt und brachte Städten und ländlichen Gebieten damals grosse Vorteile. Es ist allerdings sehr verschwenderisch, da grosse Mengen Energie bei der Übertragung verloren gehen. Lediglich ein Viertel bis ein Fünftel der eingesetzten Energie wird in Nutzenergie umgewandelt: Vom Kraftwerk bis zum kühlen Getränk oder zum hellen Raum geht ein Grossteil des Energieinputs verloren.

Ein System, das auf erneuerbaren Energien beruht und aus einer Vielzahl kleiner Generatoren mit teils schwankender Leistung besteht, braucht eine neue Architektur. In einer dezentralen Energiezukunft sind Verbraucher und Produzenten viel kleinräumiger und intelligenter miteinander verbunden und Strom, Wärme und Verkehr rücken enger zusammen.

4.1.3 Intelligente Vernetzung für die Energiewende

Die Hauptaufgabe eines Stromversorgungssystems aus Verbrauchsgewäten, Generatoren, Speichern und Netzen ist die Herstellung eines Gleichgewichts zwischen Stromverbrauch und Stromerzeugung.

Um sicherzustellen, dass die verfügbare Leistung die Nachfrage zu jedem Zeitpunkt decken kann, ist eine sorgfältige Planung erforderlich. Neben dem Abgleich von Angebot und Nachfrage muss das Stromsystem folgende Bedingungen erfüllen:

- Einhaltung definierter Vorgaben der Stromqualität (Netzspannung, Frequenz), wozu zusätzliche technische Geräte notwendig sein können
- Bewältigung extremer Ereignisse wie eine plötzliche Unterbrechung der Versorgung zum Beispiel durch einen Defekt im Generator oder den Ausfall des Verteilungssystems

Um dem deutlich höheren Anteil an erneuerbaren Energien Rechnung zu tragen, braucht die Energy [R]evolution eine grundlegende Veränderung des Stromversorgungssystems. Das Versorgungsnetz aus Kabeln und Umspannwerken, das heute den Strom in Häuser und Fabriken liefert, wurde für grosse, zentrale Generatoren entwickelt, die riesige Leistungen erzeugen und so eine Grundlastversorgung ermöglichen. Bisher wurden erneuerbare Energien als Zusatzkomponenten des Energiemix betrachtet und mussten sich den Betriebsbedingungen des Versorgungsnetzes anpassen. Das muss sich schrittweise ändern. Denn nicht regelbare Grundlastkraftwerke und fluktuierende erneuerbare Energien sind wenig kompatibel, da sich ihre Produktionszeiten teilweise überlappen.

Die Abbildungen auf der folgenden Seite zeigen schematisch, dass sich die Stromversorgung der Zukunft an flexiblen Kraftwerken und nicht mehr an Grundlastkraftwerken orientieren wird.

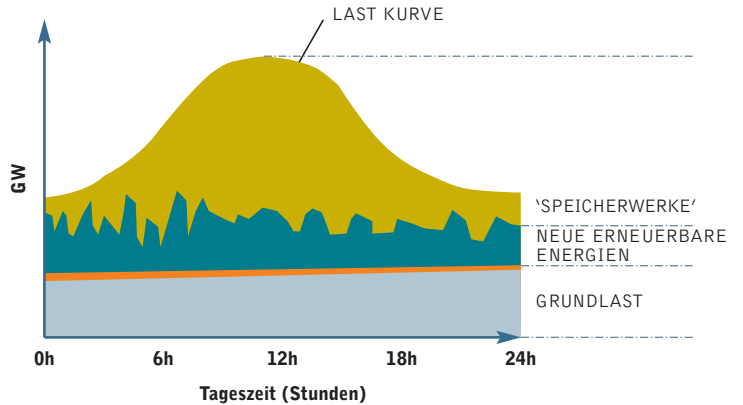
Abbildung 4.2: Ein Stromsystem mit zentralen Grosskraftwerken verschwendet zwei Drittel des Inputs



Abbildung 4.3: Grundlastkraftwerke behindern den Fortschritt

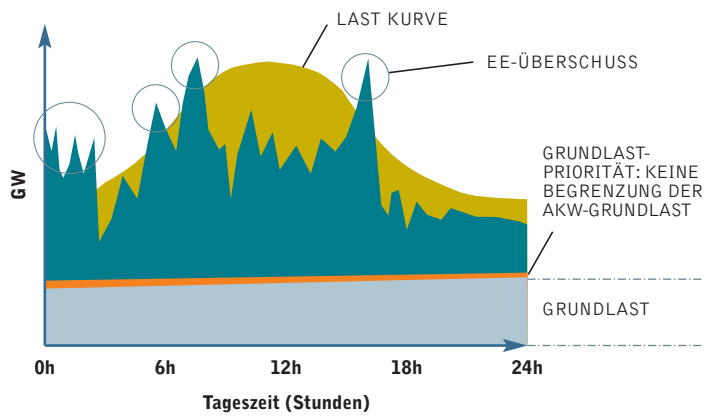
Jetziges System

- Speicherwerke liefern die Differenz der Bandlast zur Nachfrage.
- Wenig fluktuierende erneuerbare Energien.
- Grundlast der Atom- und Laufwasserkraftwerke.
- In diesem System hat es keinen Platz für einen schnellen Ausbau der erneuerbaren Energien.



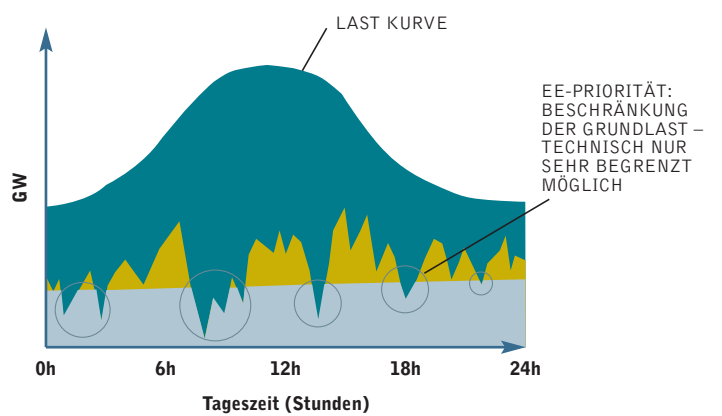
System mit einem Zubau erneuerbarer Energien und Vorrang für Grundlast

- Die Produktionsspitzen der fluktuierenden erneuerbaren Energien müssen abgeregelt werden, wenn die Bandlast nicht gedrosselt wird.



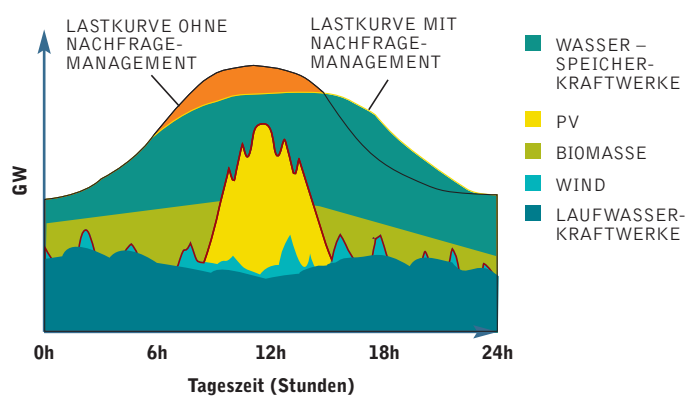
System mit einem Zubau von und mit Vorrang für erneuerbare Energien

- Als Folge des Vorrangs der erneuerbaren Energien müssten Grundlastkraftwerke immer öfter heruntergefahren werden. Bei Atomkraftwerken ist dies kaum möglich und kann zu gravierenden Sicherheitsproblemen führen.



Die Lösung: Ein System mit 100% erneuerbarem Strom

- Die Grundlast der Atomkraftwerke wird nicht mehr gebraucht, wenn die fluktuierenden und flexibel einsetzbaren erneuerbaren Energien optimal kombiniert werden.
- Ein Verbrauchsmanagement kann helfen Nachfrage und Angebot optimal aufeinander abzustimmen.



4 Die Energy [R]evolution verändert die Energieversorgungsstrukturen



Die Abbildungen zeigen, dass Grundlastkraftwerke ab einem gewissen Anteil erneuerbarer Energien nicht mehr nötig sind. Wenn die Politik hier nicht vorausschauend die Weichen stellt, kommt es entweder zu einer Stromschwemme mit negativen wirtschaftlichen Folgen, was wiederum Auswirkungen auf die Deckung der Entsorgungs- und der Sicherheitskosten hätte und allenfalls neue Forderungen der AKW-Betreiber nach sich ziehen könnte. Oder der Ausbau der erneuerbaren Energien bleibt auf der Strecke, was zu einem Bedarf an fossilen Kraftwerken führen könnte – aus Sicht des Klimaschutzes eine Sackgasse mit gefährlichen Folgen.

Die Integration erneuerbarer Energien durch den Einsatz intelligenter Stromnetze (Smart Grids) heisst, Abschied zu nehmen von der Vorstellung einer Grundlastversorgung. In einem intelligenten Stromnetz können die fluktuierenden erneuerbaren Energien (Laufwasser-, Solar- und Windkraft) durch eine optimale Integration mit den flexibel einsetzbaren Kraftwerken ((Pump-)Speicherwerke, Biomasse- und Geothermiekraftwerke), mit Speichern (Stromdirektpeicher oder auch Strom-Wärmespeicher) und einer intelligenten Nachfragesteuerung (flexibles Abwerfen oder Zuschalten von Lasten) die benötigte Leistung Tag und Nacht zur Verfügung stellen, ohne dass es zu Stromausfällen kommt.

Kasten 4.1: Die AKW-Grundlast behindert die Energiewende

Atomkraftwerke werden als sogenannte Grundlastkraftwerke betrieben. Das heisst, sie werden die meiste Zeit mit maximaler Leistung gefahren, egal wie viel Strom tatsächlich benötigt wird. Wenn der Bedarf sinkt, wird Strom verschwendet, zum Beispiel in Nachtspeicherheizungen. Wenn der Verbrauch hoch ist, liefern Wasserkraftwerke den zusätzlichen Bedarf.

Bisher werden die neuen erneuerbaren Energien als Zusatzkomponenten im gängigen Energiemix betrachtet, was sich mit steigendem Anteil grundlegend ändern muss. **Neu wird die Verfügbarkeit der fluktuierenden erneuerbaren Energien die zentrale Steuerungsgrösse im Stromsystem sein.**

Grundlastkraftwerke werden eine immer geringere Rolle spielen und in Zukunft nicht mehr benötigt, weil sie sich der Verfügbarkeit der neuen erneuerbaren Energien nicht anpassen lassen.

Dennoch wird in den Stromszenarien des Bundes (auch im NEP-Szenario) mit der Logik gerechnet, wonach neue erneuerbare Energien in den nächsten Jahrzehnten komplementär zur Grundlast der Atomkraftwerke aufgebaut werden. Das würde bedeuten, dass die erneuerbaren Energien zur Hauptsache erst sehr spät, nach dem Wegfallen der Atomkapazitäten nach 50 Jahren Laufzeit, ausgebaut werden sollen – davor nur in geringem Ausmass. Das führt zu den falschen Schlussfolgerungen, dass erstens die Solarenergie langsam (die Behörden sagen «kontrolliert») ausgebaut werden soll und dass zweitens Gaskraftwerke zur Kompensation der AKW-Lücken im Stromangebot nötig werden.

Zudem birgt das vom Bund gewählte Vorgehen erhebliche Risiken für alle Akteure am Strommarkt:

- Abgesehen vom unzumutbaren Sicherheitsrisiko kommt es zu einer Stromschwemme mit negativen wirtschaftlichen Folgen für alle Strommarktakteure, wenn sowohl die **Atomkraftwerke** weiterlaufen als auch die erneuerbaren Energien ausgebaut werden. Diese Tendenz zeichnet sich schon heute ab, weil die neuen erneuerbaren Energien auch ohne Schweizer Beteiligung in unseren Nachbarländern ausgebaut werden. Die sinkenden Strompreise an der Börse sowie die Tatsache, dass Grundlastkraftwerke mittelfristig immer weniger benötigt werden, setzen den AKW-Betreibern zu, indem sie Druck auf die Rückstellungen für Rückbau und Entsorgung sowie auf die Investitionen in die Sicherheit der AKW aufbauen. Der Fonds für die Finanzierung der Atommüllentsorgung und den Rückbau der Werke ist heute schon unterdotiert.
- Die vermeintlich benötigten **Gaskraftwerke** werden zu untragbaren Investitionsrisiken, weil die erneuerbaren Energien preislich immer günstiger werden. Was die Risiken angeht, ist zudem zentral, dass Schweizer Speicherkraftwerke jetzt und in Zukunft die benötigten Ausgleichsleistungen für die fluktuierenden erneuerbaren Energien deutlich günstiger bereitstellen können als Gaskraftwerke. Weitere Risiken entstehen durch steigende CO₂- und Brennstoffpreise. Projekte mit derart hohen CO₂-Emissionen wie Gaskraftwerke sind eine gefährliche Wette gegen die Klimapolitik und ein Affront für die Mehrheit der Bevölkerung, die den Klimaschutz zu den obersten gesellschaftlichen Prioritäten zählt.

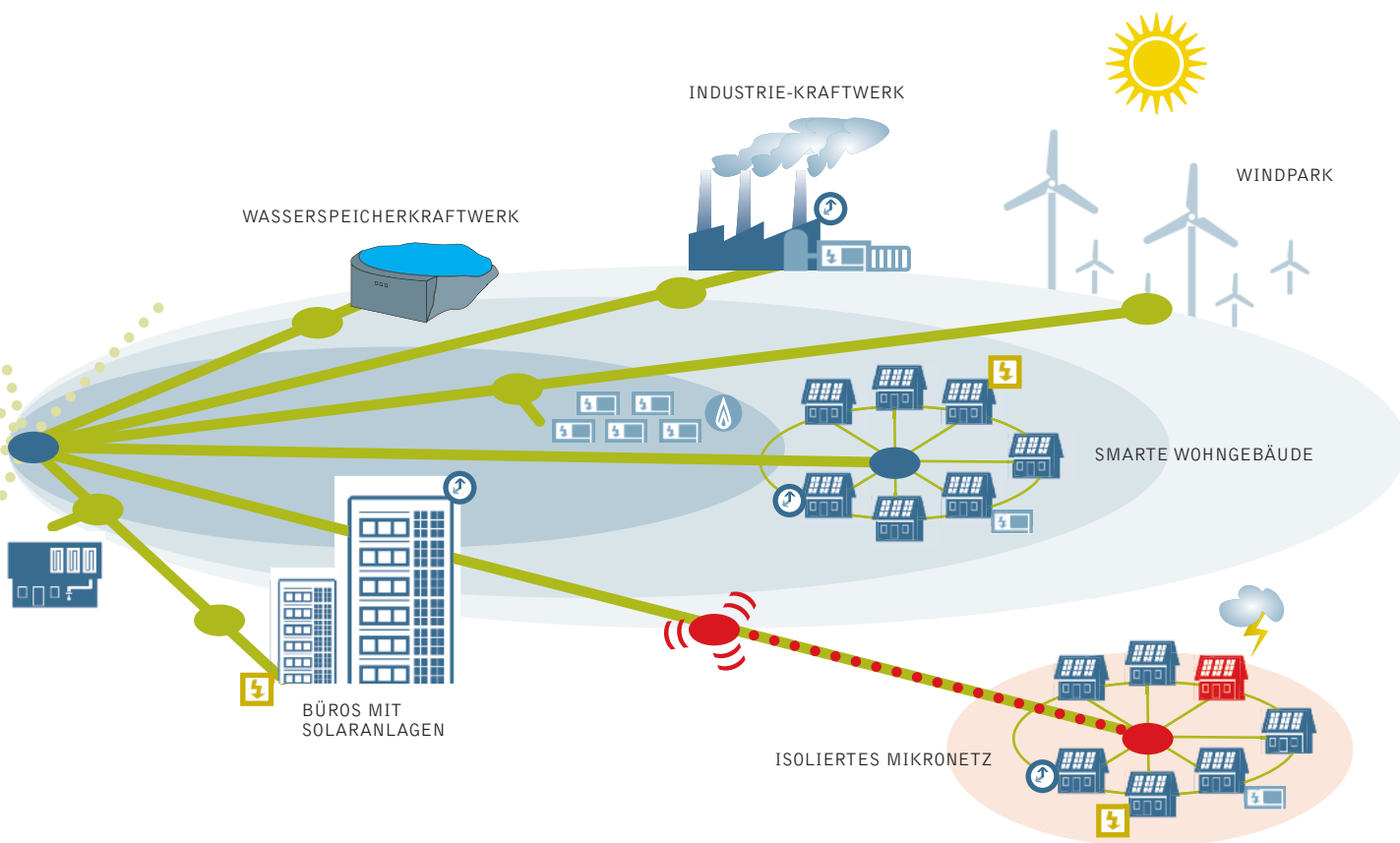
Das E[R]-Szenario zeigt einen anderen Weg auf: Der schnelle Ausbau der Stromeffizienz und der neuen erneuerbaren Energien löst die Atomkraftwerke nach rund 40 Jahren Laufzeit ab. **Abwarten und dann ausbauen ist keine nachhaltige Option** – weder für den Klimaschutz noch für den Schutz vor nuklearen Risiken. Dass mit dem E[R]-Szenario die Versorgungssicherheit im Stromsystem jederzeit sichergestellt ist, zeigen die Modellrechnungen zur Stromversorgung im Jahr 2050 für jede Stunde des Jahres in Kapitel 3.

Diese Herausforderungen⁴⁵ verlangen eine innovative Netzarchitektur mit neuen Ansätzen zur Netzwerksteuerung, um ein Gleichgewicht zwischen der schwankenden Energienachfrage und der generierten Leistung zu erreichen. Die entscheidenden Elemente dieser neuen Architektur sind Mikronetze, intelligente Stromnetze sowie ein

effizientes, grossflächiges Supernetz. Diese drei Systeme werden untereinander verbunden und unterstützen sich gegenseitig. Abbildung 4.4 zeigt eine grafische Darstellung der Kernelemente künftiger Stromversorgungssysteme aus erneuerbaren Energien unter Einbezug von intelligenten Stromnetztechnologien.

Abbildung 4.4: Smart-Grid Vision für die Energy [R]evolution

EIN NETZWERK VON INTEGRIERTEN, SICH SELBST STEUERNDEN MIKRONETZEN.



PROZESSOREN
FÜR DIE ECHTZEITSTEUERUNG

SMARTE GERÄTE UND MASCHINEN
KÖNNEN GESTEUERT ODER GANZ HERUNTERGEFAHREN WERDEN, UM SCHWANKUNGEN AUSZUGLEICHEN.

DEZENTRAL VERTEILTE WKK-GENERATOREN
KÖNNEN ZUSAMMEN MIT SOLARANLAGEN DEN NETZBEDARF VERRINGERN.

STÖRUNG IM NETZ

SENSOREN IM STANDBY-MODUS
ENTDECKEN STÖRUNGEN UND KÖNNEN BEI BEDARF NETZSTÜCKE ISOLIEREN.

VERBRAUCHSMANAGEMENT
UM LASTSPITZEN ZU GLÄTTEN UND/ODER VERBRAUCHSLASTEN BESSER AN DIE PRODUKTION ANZUPASSEN

SPEICHERUNG UM NICHT DIREKT GEBRAUCHTEN STROM AUFZUBEWAHREN. BATTERIEN (KURZFRISTIG), SPEICHERSEEN (MITTEL- UND LANGFRISTIG) SOWIE WEITERE VERFAHREN FÜR EINE LÄNGERFRISTIGE LAGERUNG (Z.B. STROMUMWANDLUNG «POWER TO GAS») WERDEN SICH ERGÄNZEN.

AKTIVIERTER SENSOR

referenz
45 SIEHE AUCH ECOGRID PHASE 1 SUMMARY REPORT, ERHÄLTICH UNTER:
[HTTP://WWW.ENERGINET.DK/EN/FORSKNING/ECOGRID-EU/SIDER/EU-ECOGRID-NET.ASPX](http://www.energinet.dk/en/forskning/ecogrid-eu/sider/eu-ecogrid-net.aspx)



Die nicht aufgezeigten Supernetze (Supergrids) sind Gleichstromübertragungsnetze für längere Distanzen und haben die Aufgabe, die weiträumige Verteilung der erneuerbaren Energien in Europa sicherzustellen. Das E[ER]-Szenario für Europa zeigt, dass beim heutigen Technologie- und Wissensstand

längerfristig rund 30% der Elektrizität zur Versorgung grosser Agglomerationen aus Grosskraftwerken wie Offshore-Windparks in Nord- und Westeuropa oder aus solarthermischen Anlagen in Südeuropa und Nordafrika kommen werden.

Kasten 4.2: Definitionen und technische Begriffe

Das Stromnetz ist ein Sammelbegriff für alle Leitungen, Transformatoren und übrige Infrastrukturen, durch die Strom von den Kraftwerken zum Endverbraucher befördert wird. Sämtliche Netzelemente werden in Zukunft mit elektronischen Steuersystemen versehen (Smart Grids).

Mikronetze stellen die lokale Versorgung sicher. Die Infrastruktur zur Überwachung und Steuerung der Stromversorgung ist in die Verteilnetze eingebettet und koordiniert die Energieressourcen sowie die Nachfrage vor Ort. Intelligente Stromzähler können zum Beispiel den Verbrauch und die Kosten in Echtzeit anzeigen, sodass Strom verbrauchende Geräte auf ein Signal des Netzbetreibers hin aus- oder heruntergeschaltet werden, um Lastspitzen und höhere Stromkosten zu vermeiden. Ein Beispiel eines solchen Mikronetzes wäre eine Verbindung aus Photovoltaikzellen, Mikroturbinen, Brennstoffzellen, Energieeffizienz und Informations-/Kommunikationstechnik zur Laststeuerung in einer Kleinstadt.

Regionale Netze gleichen die Nachfrage in der Region aus. Ein «intelligentes» regionales Stromnetz verbindet Mikronetze mit ihren dezentralen erneuerbaren Erzeugungsanlagen und Verbrauchslasten untereinander. Fortschrittliche Steuerungs- und Regeltechniken für das Stromnetz ermöglichen einen effizienten Betrieb.

Supernetze transportieren Strommengen zwischen einzelnen Regionen. Sie verbinden ganze Länder oder Regionen mit grossem Stromangebot und grosser Nachfrage – meist mit Hilfe der Hochspannungsgleichstrom-Technik. Ein Beispiel

dafür wäre ein Zusammenschluss aller grossen erneuerbaren Kraftwerke in der Nordsee oder eine Verbindung zwischen Südeuropa und Afrika, über die Wind- oder Solarenergie aus Gegenden mit hohem lokalem Energievorkommen in grössere Städte exportiert werden könnten.

Grundlast-Kraftwerke liefern unterbrechungsfrei jederzeit eine Mindestmenge an Strom. Die Grundlast wird traditionell durch Kohle- oder Atomkraftwerke bereitgestellt. Die Energy [R]evolution stellt diese Produktionsweise in Frage und setzt stattdessen auf eine Reihe flexibel produzierender Energiequellen, die über grosse geografische Bereiche miteinander kombiniert werden. Zurzeit gehört die Grundlast zum Geschäftsmodell von Atomkraftwerken, die rund um die Uhr Strom produzieren – ob er nun benötigt wird oder nicht.

Fluktuierende Stromproduktion bezeichnet Strom, der je nach Wetterbedingungen durch Wind-, Wasser, oder Solarkraftanlagen erzeugt wird. Ein solches variables Stromangebot kann mit darauf ausgerichteten Speichertechnologien abrufbar gemacht werden.

Abrufbar bzw. regelbar ist das Stromangebot, wenn es gespeichert und bei Bedarf in Regionen mit hoher Nachfrage abgerufen werden kann, zum Beispiel Energie von Wasserkraftwerken für Grossstädte.

Die Lastkurve bezeichnet das typische Muster des Stromverbrauchs im Tagesverlauf. Sie umfasst die prognostizierbaren Höhen und Tiefen, die anhand von Aussentemperaturen und des historischen Verlaufs vorausberechnet werden können.

Die Aufgaben für das Stromnetz der Zukunft

- **Steuerung von Menge und Zeitpunkt des Strombedarfs:** Durch eine Anpassung der Preisgestaltung können Verbraucher finanzielle Anreize erhalten, ihren Stromverbrauch zu Spitzenzeiten zu drosseln oder ganz einzustellen. Dieses Verfahren wird bereits bei einigen Grossverbrauchern in der Industrie eingesetzt. Für eine breite Anwendung braucht es via Smart Meter⁴⁶ einen automatischen Zugriff auf zuvor gemeinsam definierte Verbrauchslasten, sodass die Netzbetreiber diese bei Bedarf abstellen können. Der Verbraucher wiederum profitiert in einem solchen Szenario von günstigeren Netztarifen.
- **Vernetzung von Produktionsanlagen bzw. Schaffung virtueller Kraftwerke:** Virtuelle Kraftwerke verbinden mittels Informationstechnik eine Reihe von echten Kraftwerken (z.B. Solar-, Wind- und Wasserkraftwerke sowie Speichereinrichtungen, die im Stromerzeugungssystem verteilt sind). Die systematische Verbindung der Komponenten erlaubt es, diese wie einen Kraftwerksblock zu fahren. Ein Beispiel eines virtuellen Kraftwerks ist das regenerative Kombikraftwerk, das von drei deutschen Unternehmen entwickelt wurde.⁴⁷
- **Einbindung von Stromspeichern:** Die Schweiz ist mit ihren Pumpspeicherwerken sehr gut gerüstet, um fluktuierende erneuerbare Energien auszugleichen und plötzlich steigende oder wegfallende Verbräuche elektrischer Geräte zu kompensieren (vgl. auch Kapitel 3.3: Versorgungssicherheit). Sie können innert Sekunden auf Veränderungen der geforderten Stromleistung reagieren. Lokale Batterien oder kommunale Stromspeicher werden in Zukunft neben den Pumpspeichern auch eine Rolle spielen und müssen optimal ins System eingebunden werden.
- **Fahrzeugeinspeisung:** Eine weitere Möglichkeit, Strom vorübergehend zu speichern, besteht darin, ihn für den Bedarf von Elektrofahrzeugen zu nutzen. Die Anzahl strombetriebener Pkw und Lkw soll gemäss dem Szenario der Energy [R]evolution massiv steigen. Die Fahrzeugeinspeisung, ein Konzept, das auch als Vehicle-to-Grid (V2G) bekannt ist, beruht auf Elektrofahrzeugen, die mit Batterien ausgestattet sind. Diese werden geladen, wenn überschüssige erneuerbare Energie zur Verfügung steht, und können, sofern die Fahrzeuge nicht in Betrieb sind, auch wieder entladen werden, um Bedarfsspitzen zu decken oder Systemdienstleistungen zu erbringen. Da Fahrzeuge in Zeiten hoher Stromnachfrage oft in der Nähe von wichtigen Leistungsverbrauchern stehen, zum Beispiel vor Fabriken, gäbe es keine Probleme mit der Netzeinspeisung. Im Rahmen des V2G-Konzepts könnte ein virtuelles Kraftwerk mit Hilfe von Informations-Technologie (IT) eingerichtet werden, um die teilnehmenden Elektrofahrzeuge zusammenzuschliessen und den Lade-/Entladevorgang zu überwachen. Im Jahr 2009 wurde das Demonstrationsprojekt «Edison» ins Leben gerufen, um die erforderliche Infrastruktur zur Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromversorgungssystem der dänischen Insel Bornholm zu entwickeln und zu testen.

- **Weiträumige Vernetzung:** Im Gesamtkonzept eines intelligenten Stromnetzes gleichen sich Schwankungen in der Stromversorgung über mehrere miteinander verbundene geografische Räume aus.

Neue Massnahmen zur Steuerung der Nachfrage wie die Nutzung von Wettervorhersagen zur Berechnung des Speicherbedarfs und fortschrittliche Kommunikations- und Regelungstechnologien werden dazu beitragen, Strom effektiver zur Verfügung zu stellen. Die bis 2050 anstehenden Veränderungen in der Stromversorgung werden **enorme Chancen für die Informations- und Telekommunikationsbranche** mit sich bringen. Ein intelligentes Stromnetz verlangt die Erhebung und Analyse grosser Datenmengen.

Gelingt es, jetzt die Weichen für den Umbau des Stromnetzes zu stellen, sind damit nur **begrenzte Mehrkosten** verbunden, denn unsere heutigen Stromnetze sind mehrheitlich 40 Jahre alt oder älter. Ein Neu- und Umbau steht ohnehin vor der Tür. Wenn der Umbau des Stromversorgungssystems im Rahmen der normalen Erneuerungsprozesse erfolgt, werden sich die Mehrinvestitionen für den Netzbau in Grenzen halten. Die Kostenschätzungen im Auftrag des Bundesamtes für Energie zeigen:

- Beim verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien (Szenario «Neue Energiepolitik») fallen die Kosten auf der Übertragungsnetzebene geringer aus als im Szenario «Weiter wie bisher». Es resultieren rund 200 Millionen CHF Einsparungen bis 2050. Dafür müssen auf der unteren Ebene der Verteilnetze bis 2050 rund 650 Millionen CHF mehr investiert werden. Wir gehen davon aus, dass sich diese Effekte im E[R]-Szenario noch einmal leicht verstärken.
- Die berechneten Mehrkosten für die Verteilnetze liegen für einen typischen Haushalt im Jahr 2050 bei etwa 50 bis 70 CHF pro Jahr. Die jährlichen Kosten für die Netznutzung betragen dann gemäss Consentec 2012⁴⁸ etwa 600 bis 620 CHF statt 550 CHF (Szenario «Weiter wie bisher»).

4.2 Sind Kapazitätsmärkte eine Lösung im veränderten Strommarkt?

Eine Stromversorgung aus erneuerbaren Quellen wird die Rollen- und Aufgabenverteilung zwischen den Akteuren verändern und neue Strommarktregeln erfordern. Die Wertschöpfungsketten verlagern sich weg von zentralisierten Versorgungsunternehmen hin zu zahlreichen privaten Investoren – zu den Herstellern von erneuerbaren Energien und zu lokal tätigen Unternehmen im Bereich der Planung, des Baus, des Unterhalts und der Steuerung der Anlagen. Bei den Stromnetzbetreibern bleiben zentral organisierte Aufgaben, damit die optimale Integration der erneuerbaren Energien sichergestellt werden kann.

referenz

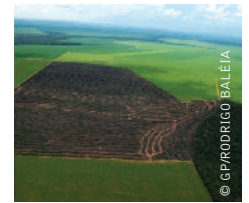
⁴⁶ IN ITALIEN WURDEN 30 MILLIONEN «INTELLIGENTE STROMZÄHLER» INSTALLIERT, DIE EINE FERNABLESUNG DES ZÄHLERS SOWIE DIE KONTROLLE VON VERBRAUCHER- UND SERVICEINFORMATIONEN GESTATTEN. VIELE HAUSHALTSGERÄTE UND -SYSTEME, WIE ETWA KÜHLSCHRÄNKE, GESCHIRRSPÜLER, WASCHMASCHINEN, NACHTSPEICHERÖFEN, WASSERPUMPEN ODER KLIMAAANLAGEN, LASSEN SICH STEUERN, INDEM SIE VORÜBERGEHEND AUSGESCHALTET WERDEN ODER INDEM IHRE BETRIEBSZEIT UMPROGRAMMIERT WIRD, SODASS DIE VERFÜGBARE STROMLEISTUNG FÜR ANDERE ZWECKE GENUTZT UND DEN SCHWANKUNGEN IN DER ERNEUERBAREN ENERGIEVERSORGUNG ANGEGLICHEN WERDEN KANN.

⁴⁷ [HTTP://WWW.KOMBIKRAFTWERK.DE/INDEX.PHP?ID=27](http://www.kombikraftwerk.de/index.php?id=27)

⁴⁸ [HTTP://WWW.BFE.ADMIN.CH/THEMEN/00526/00527/INDEX.HTML?LANG=DE&DOSSIER_ID=05024](http://www.bfe.admin.ch/theMEN/00526/00527/INDEX.HTML?LANG=DE&DOSSIER_ID=05024): STUDIE «ENERGIESTRATEGIE 2050» BERICHT DES TEILPROJEKTS «ENERGIENETZE UND AUSBBAUKOSTEN» (CONSENTREC 2012).

bild DAS BIOENERGIEDORF JÜHNDE IN DEUTSCHLAND ERREICHT EINE VOLLVERSORGUNG MIT ERNEUERBAREN ENERGIEN.

bild EIN FÜR DIE AGROINDUSTRIE ABGEHOLZTER BEREICH IM AMAZONAS REGENWALD IN BRASILIEN.



Anstelle des schlichten Stromverkaufs werden Versorgungsunternehmen in Zukunft Energielösungen mit Kraftwerken, Speichern und den dazugehörigen IT-Diensten liefern. Traditionelle Energieversorger, die sich nicht in Richtung der Projektentwicklung oder Integration erneuerbarer Energien orientieren, riskieren, ihren Marktanteil einzubüssen.

Durch den Ausbau der erneuerbaren Energien in Europa hat sich der Strompreis an den **Strombörsen** heute stark verbilligt, weil bei der Strompreisbildung für alle Kraftwerke nur Grenzkosten einfließen. Bei konventionellen Kraftwerken sind dies die Brennstoff- und die Unterhaltskosten. Bei Wind- und Solarkraftwerken tendieren diese Kosten gegen null. Der Strompreis wird an der Börse jeweils anhand der Kosten des für die Deckung der jeweiligen Nachfrage gerade noch notwendigen Kraftwerks gebildet. Die Reihenfolge, nach der die verschiedenen Kraftwerke eingesetzt werden, wird so bestimmt, dass die Kraftwerke mit den höchsten Kosten am Schluss eingesetzt werden (**Merit Order Prinzip**).

Wind- und Solarkraftwerke drängen konventionelle Kraftwerke dank ihrer sehr geringen Grenzkosten aus der Merit Order, was den Strompreis verbilligt. Da der europäische Markt für CO₂-Emissionen nicht funktioniert⁴⁹, können Gaskraftwerke keinen genügenden Deckungsbeitrag erwirtschaften. Das führt dazu, dass statt der Gaskraftwerke die sehr viel schmutzigeren und schlecht steuerbaren Kohlekraftwerke ihre Produktion absetzen können und so das Klima unnötig belasten. Dieses Problem kann zum Teil durch die Behebung der **Zertifikate-Schwemme im CO₂-Markt** gelöst werden – so dass eine wirksame Preisuntergrenze von 60 bis 80 EUR pro Tonne CO₂ erreicht wird.⁵⁰ Eine solche Grenze würde gemäss Berechnungen von Greenpeace dazu führen, dass die im Vergleich zu Kohlekraftwerken klimafreundlicheren Gaskraftwerke einen Vorteil gegenüber Kohlekraftwerken hätten. Die Untergrenze gibt den Investoren auch die für langfristige Investitionen in klimafreundliche Technologien und Energieeffizienz nötige Sicherheit und ermöglicht damit kontinuierliche Fortschritte beim Erreichen der CO₂-Reduktionsziele. Kohlekraftwerke sind dann nicht mehr wettbewerbsfähig.

Ausser über den aktuell nicht funktionierenden CO₂-Markt wird zurzeit auch darüber diskutiert, ob das heutige Strommarktdesign sich für die Bereithaltung von Kapazitäten eignet, welche ausschliesslich für den Ausgleich der erneuerbaren Energien benötigt werden. Viele Experten gehen davon aus, dass das bestehende Strommarktmodell dafür nicht geeignet ist, und fordern mittelfristig die Einführung von **Kapazitätsmärkten**. Solche Märkte würden einen Preis bestimmen, den die Kraftwerksbetreiber nicht für den *gelieferten* Strom vom Staat erhalten würden, sondern für die ständige *Bereitschaft*, bei Bedarf zusätzlich eine bestimmte Menge Strom zu liefern. Die Energiewende braucht jedoch weniger Subventionen, nicht mehr. Zusätzliche Subventionen drücken die Marktpreise auf indirekte, versteckte Weise noch weiter, sodass der Stromverkaufspreis die effektiven Kosten noch schlechter reflektieren würde. Sie sichern den Betreibern von bereits gebauten fossilen Kraftwerken staatlich abgesicherte Renditen – und werden deswegen von ihnen auch gefordert.

Kapazitätsmärkte sind jedoch keine Notwendigkeit. In einem funktionierenden Markt führen fluktuierende Angebots- und Nachfrageverhältnisse zu variierenden Preisen. Diese Preisunterschiede führen einerseits zu einer gewissen Verschiebung der Nachfrage hin zum Zeitpunkt, wo ein Überangebot besteht. In der Schweiz hat zum Beispiel der nächtliche Niedertarif dazu geführt, dass Elektroboiler und Speicherheizungen in der Nacht betrieben werden. Das Smart Metering und die Smart Grids werden hier eine kleine Revolution auslösen.

Andererseits können Preisunterschiede von Anbietern von Speicherkapazitäten genutzt werden, indem sie bei Angebotsüberschuss (tiefe Preise) Strom speichern und ihn bei Nachfrageüberschuss (hohe Preise) wieder ins Netz speisen. Die Notwendigkeit von Speichern für eine erfolgreiche Energiewende ist im Gegensatz zu den flexiblen fossilen Kraftwerken (z.B. Gas) jedoch unbestritten.

Die Stromangebots- und Nachfrageverhältnisse werden in Zukunft nicht so leicht vorhersehbar sein wie bisher, vor allem weil das Angebot von Wind- und Solarstrom schwankt. Doch beim heutigen Stand der Meteorologie sowie der Informations- und Kommunikationstechnologie stellt dies keine unüberwindbare Hürde dar.

Der heutige Strommarkt leidet noch unter einem weiteren Problem: Die erneuerbaren Energien können sich in einer «100% erneuerbaren Welt» nicht refinanzieren, wenn die Kapitalkosten nicht in die Preisbildung einfließen. Auch in diesem Zusammenhang wird von Kapazitätsmärkten gesprochen. Doch es ist fraglich, ob Kapazitätsmärkte zur Sicherstellung erneuerbarer Kapazitäten nötig sind. Das heutige System – die Finanzierung über eine kostendeckende Prämie, die den ökologischen Wert von erneuerbaren Anlagen vergütet – ist volkswirtschaftlich die bessere Lösung. Aus Sicht eines Vollkostenansatzes ist eine solche Prämie gerechtfertigt, weil konventionelle Kraftwerke die von ihnen verursachten Umweltschäden und die Langzeitfolgen nicht tragen müssen.

Bei der Diskussion rund um die Einführung von Kapazitätsmärkten ist weiter zu berücksichtigen, dass Kapazitäten prinzipiell von verschiedensten Akteuren mit unterschiedlichen Rollen bereitgestellt werden können – von Verbrauchern, Produzenten oder auch von Netzbetreibern als strategische Reserven. Wenn trotz der grundsätzlichen Vorbehalte Kapazitäten entschädigt werden, dann sollten die nötigen Mengen in Auktionen versteigert werden, um einen möglichst effizienten Markt entstehen zu lassen. Netzbetreiber könnten auch Vereinbarungen mit ihren Kunden treffen, die es ihnen erlauben, gezielte Lasten anzusteuern, um das Stromnetz stabil zu halten. Der Kunde, der Lasten zur Verfügung stellt, profitiert im Gegenzug von günstigeren Netzkosten.

referenz

⁴⁹ WEGEN DER ZU GROSSZÜGIG BEMESSENEN EMISSIONSOBERGRENZE BESTEHT EIN ÜBERANGEBOT AN EMISSIONSZERTIFIKATEN. DER PREIS LIEGT SO TIEF (BEI CA. 5 EUR PRO TONNE CO₂ IM SEPTEMBER 2013), DASS ER KEINE STEUERUNGSWIRKUNG ENTWICKELN KANN.

⁵⁰ BEI 40 EUR PRO TONNE WERDEN STEINKOHELEKRAFTWERKE UNTER DRUCK KOMMEN, DIE SCHMUTZIGEREN BRAUNKOHELEKRAFTWERKE ERST BEI DEUTLICH HÖHEREN PREISEN: [HTTP://WWW.GREENPEACE.DE/FILEADMIN/GPD/USER_UPLOAD/THEMEN/ENERGIE/20131021_GREENPEACE_KOHELESTUDIE.PDF](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/energie/20131021_GREENPEACE_KOHELESTUDIE.PDF)



Fazit: Für die Weiterentwicklung des heutigen Strommarkts ist es fraglich, ob Kapazitätsmärkte die optimale Lösung zur Erhaltung der Versorgungssicherheit sind. Vielmehr sollten folgende Massnahmen den heutigen Strommarkt verbessern:

- **Reparatur des CO₂-Marktes durch eine Preisuntergrenze von mindestens 60–80 EUR pro Tonne:** Ohne funktionierenden CO₂-Markt gibt der Strommarkt falsche Anreize. Weitere Abgaben für Umweltschäden und Langzeitriskien (z.B. Brennelementsteuer oder Landnutzungsabgabe) sind einzubeziehen.
- **Unterstützung der Forschung im Bereich der Speichertechnologien:** Speicher sind die beste Lösung zur Erhaltung der Versorgungssicherheit. Pumpspeicher sollen sich der rasch und nur unvollständig vorhersehbaren Angebotsfluktuation bzw. den Preisveränderungen anpassen können. Zusätzliche müssen neuartige Speichermöglichkeiten (z.B. Power to Gas) weiterentwickelt werden und Marktreife erlangen.
- **Unterstützung der intelligenten Infrastruktur (Netze):** Durch ihre Nähe zu den Endverbrauchern sind Netzbetreiber prädestiniert, die Verantwortung für das Engpassmanagement zu übernehmen. Über intelligente Netze (Smart Grids) können sie zusammen mit den Endverbrauchern die Last bis zu einem gewissen Grad zeitlich steuern. Beim Aufbau dieser Netze und der dafür erforderlichen Technologie können sie unterstützt werden.
- **Sicherstellung der Refinanzierung von erneuerbaren Kraftwerken:** Wenn es nicht gelingt, erneuerbar produzierende Kraftwerkskapazitäten am Markt zu finanzieren, könnte in Zukunft – statt einer aufwändigen staatlichen Kapazitätsmarktregelung – eine Refinanzierung von Kraftwerkskapazitäten weiterhin über eine Kostendeckende

Einspeisevergütung (KEV) bzw. eine Ökologieprämie erfolgen. Eine solche rechtfertigt sich aus Vollkostensicht so lange, wie die Gesellschaft ungedeckte Kosten von fossilen und atomaren Kraftwerken ausserhalb der direkten Preisbildung berappen muss.

Es gilt folglich genau zu überlegen, ob eine echte Regulierung durch den Markt nicht für alle Akteure die effizientere und zukunftssträchtigere Lösung ist. Es werden gleich zwei Vorteile genützt: Weitere Subventionen werden unnötig und die Energieeffizienzbestrebungen werden mit Marktpulsen vorangetrieben.

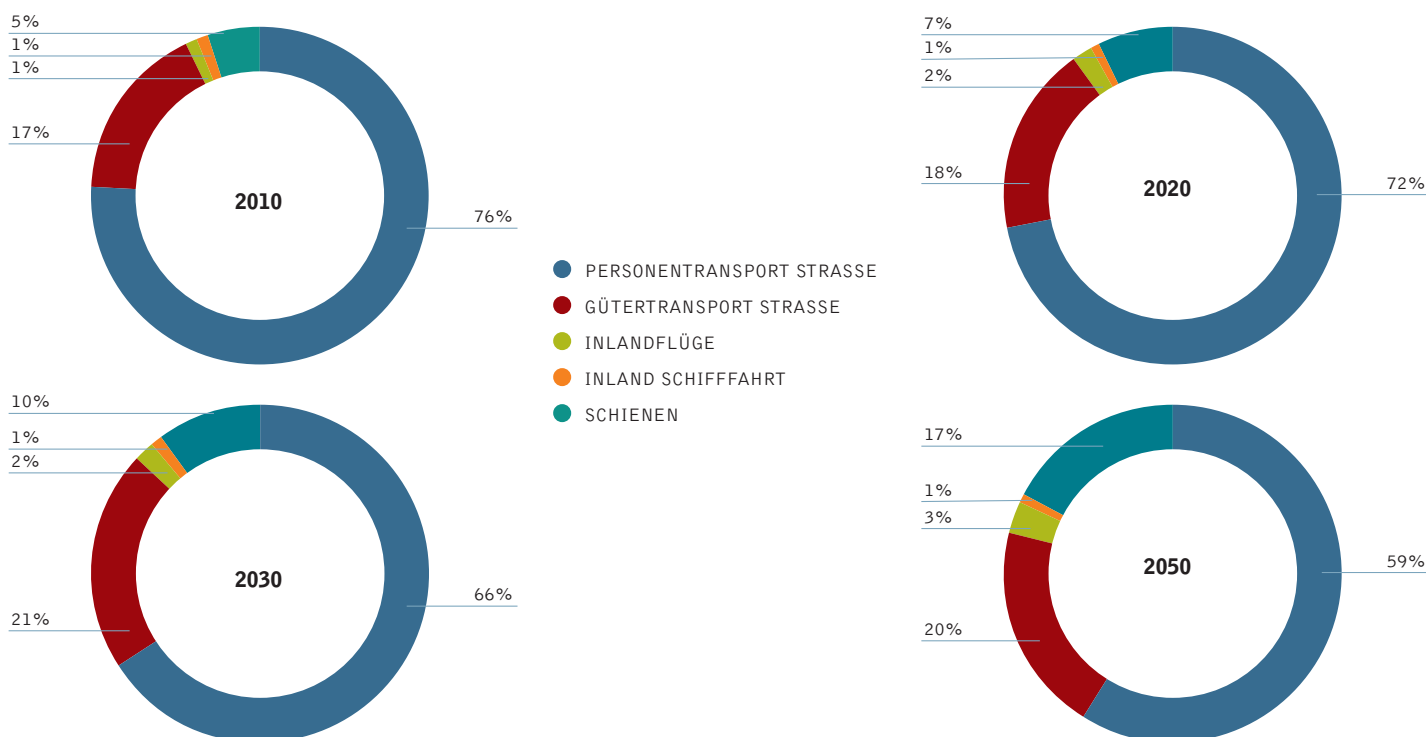
4.3 Die Energiewende verändert den Verkehrssektor

Neben den besprochenen Transformationen im Elektrizitätssystem wird der Verkehrssektor grössere Anpassungen durchmachen, wenn die CO₂-Ziele erreicht werden sollen. Zwar müssen auch der Gebäudebereich und der Industriesektor umgebaut werden, der Verkehrssektor birgt aber besondere Herausforderungen. Zur Erreichung der Ziele im Verkehrssektor bestehen folgende Voraussetzungen:

- Reduktion der Verkehrsnachfrage
- konsequenter Wechsel von Transporten mit hohem Energieverbrauch zu solchen mit tiefem Verbrauch
- verbesserte Effizienz der eingesetzten Fahrzeuge

Der Personenverkehr in Städten und Agglomerationen muss viel stärker auf den Langsam- und den öffentlichen Verkehr verlagert werden. Carsharing, Fuss- und Veloverkehr, grössere Elektrovelos für Transporte und die Beförderung mehrerer Personen sowie ein

Abbildung 4.5: Der Endenergieverbrauch der verschiedenen Transportarten im E[R]-Szenario





dichtes öffentliches Verkehrsnetz gehören zur Strategie, mit der mehr Menschen komfortabel und mit weniger Energieverbrauch von A nach B gelangen.

Trotz einer starken Verlagerung weg vom motorisierten Individualverkehr hin zu effizienteren Verkehrsmitteln wird der Individualverkehr auch 2050 mit 59% weiterhin den Hauptteil des Endenergieverbrauchs im Verkehr verursachen. Der Anteil der Bahn wird 2050 rund 20% betragen. Abbildung 4.5 zeigt die Entwicklung der Anteile der verschiedenen Transportarten der ECRJ-Szenario.

Viel stärker als die Veränderung des Modalsplits fällt die Reduktion des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor ins Gewicht. Eine solche Reduktion kann nur mit einer Stabilisierung der Verkehrsleistungen, den Modalsplitänderungen und einer ambitionierten Fahrzeugeffizienz-Strategie erreicht werden, die zum grossen Teil auf Elektrifizierung beruht (vgl. Abbildung 4.6).

Die Annahmen für die Energieeffizienzsteigerungen der verschiedenen Personen- und Güterverkehrssysteme zeigt die nächste Abbildung. Die massive Steigerung bei den Personenwagen wird in erster Linie mit der Elektrifizierung erreicht.

Die Strategie der Energy [R]evolution wird den Mix an Energie verbrauchenden Fahrzeugen bis 2050 stark verändern. Der Anteil mit Diesel oder Benzin betriebener Fahrzeuge wird von praktisch 100% im Jahr 2010 auf weniger als 2.5% im Jahr 2050 abnehmen. An ihre Stelle werden Fahrzeuge mit Biogas- oder Biodieselantrieb⁵¹ (17%), reine Elektrofahrzeuge (28%), Fahrzeuge mit Hybridantrieb (39%) und Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb (14%) treten. Statt Wasserstoff kann auch synthetisches Methan zum Einsatz kommen (siehe Abbildung 4.9, nächste Seite).

Abbildung 4.6: Gegenüberstellung von Endenergie-, Elektrizitätsverbrauch und CO₂-Emissionen im Verkehrssektor 2010 bis 2050

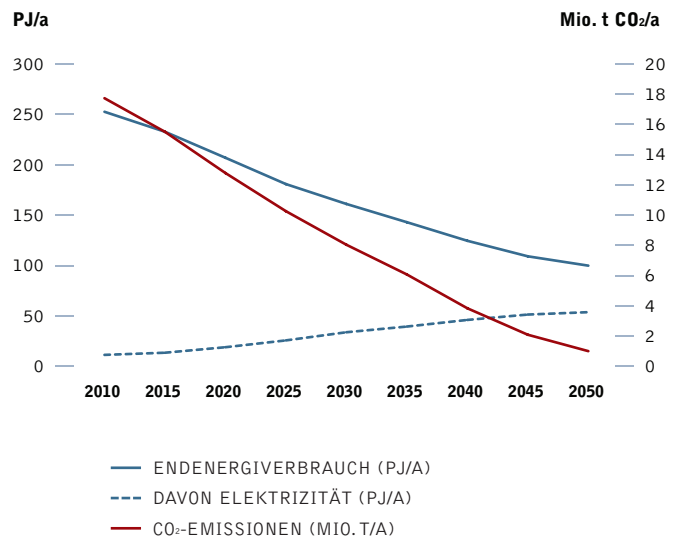


Abbildung 4.7: Bestandesgewichtete Energieintensität für den Personenverkehr 2010 und 2050

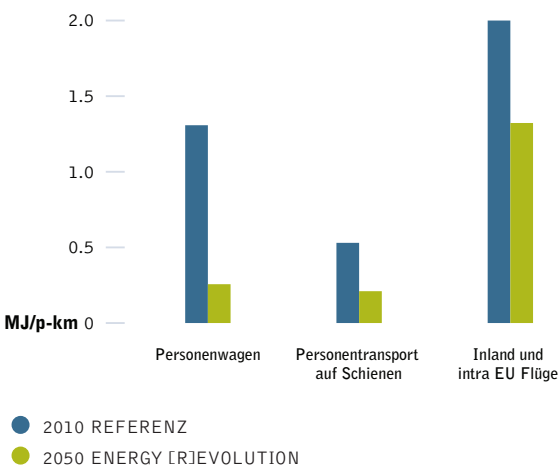
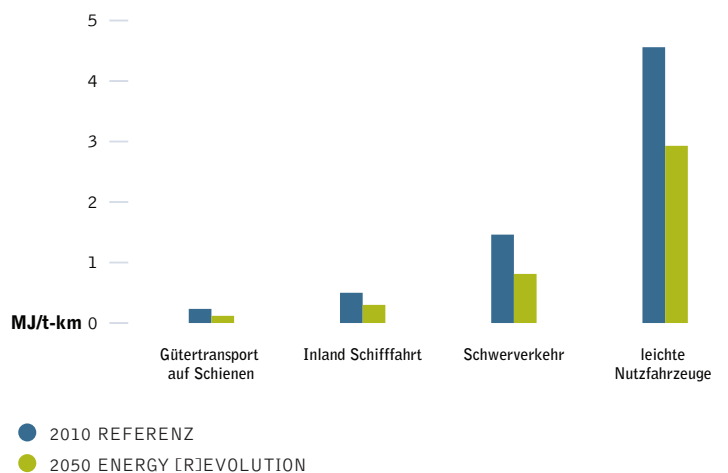


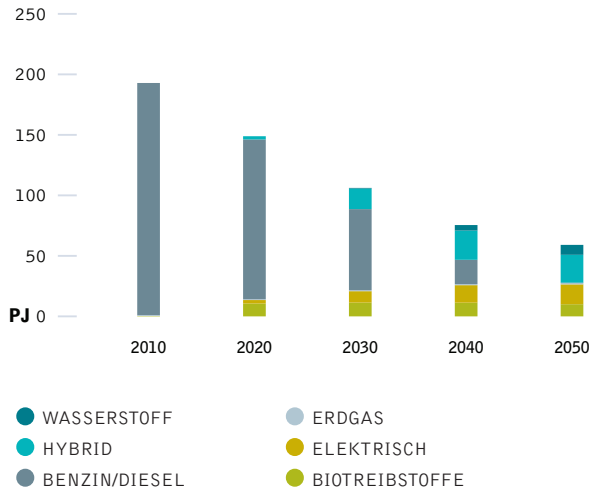
Abbildung 4.8: Durchschnittliche bestandesgewichtete Energieintensität für den Güterverkehr 2010 und 2050



referenz

⁵¹ IM ECRJ-SZENARIO WERDEN NUR NACHHALTIGE BIOMASSERESSOURCEN GENUTZT, PRIMÄR ABFALLBIOMASSE UND ENERGIEHOLZ AUS NACHHALTIG BEWIRTSCHAFTETEN WÄLDERN.

Abbildung 4.9: Endenergie-Anteile der Antriebstechnologien bis 2050 im E[R]-Szenario



Die Energy [R]evolution verändert die Energieversorgungsstrukturen

Die Elektrifizierung im Verkehrssektor verlangt nach einer guten Integration von Verkehrs- und Stromnetzen mit entsprechenden Schnittstellen für die Be- und Entladung der Elektrofahrzeuge. Richtig gesteuert, können die Speicher in den Elektrofahrzeugen zur Stabilisierung des Stromnetzes beitragen (Vehicle to Grid, siehe S. 46).

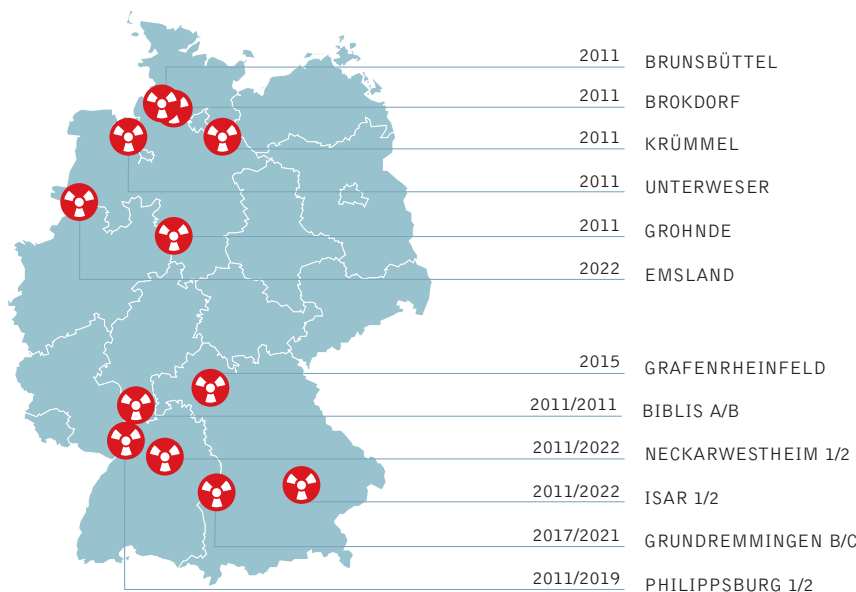
Um die gezeigte Transformation des Verkehrssektors zu ermöglichen, braucht es in erster Linie eine klare CO₂-Verringerungsstrategie mit zwingenden Zielsetzungen und entsprechenden Massnahmen. Die Verteuerung der Mobilität wird dabei eine wichtige Rolle spielen.

4.4 Fallstudie: Deutschland mitten in der Energiewende

In Deutschland werden erneuerbare Energien seit mehr als zehn Jahren mit einem Einspeisetarif gefördert. Als Resultat dieser Förderung konnten bei allen erneuerbaren Energien Kostensenkungen und Ausbaurekorde realisiert werden. Entgegen den Behauptungen vieler Kritiker ist das deutsche Modell ein Erfolg – die massiven Kostenreduktionen haben den Weg für erneuerbare Energien auch in anderen Ländern geebnet.

Erneuerbare Energien und Energieeffizienz lösen Atomstrom ab: Nach Fukushima verkündete der damalige Bundesumweltminister Norbert Röttgen am 30. Mai 2011, Deutschland werde seine acht ältesten Atomkraftwerke sofort abschalten und die verbleibenden neun Reaktoren bis zum Jahr 2022 vom Netz nehmen.

Abbildung 4.10: Atomausstieg in Deutschland



- Sofortige Ausschaltung von 8 Reaktoren im Mai 2011.
- Ausstieg aus der Atomenergie mit den Abschaltenden 2011, 2015, 2017, 2019, 2021, 2022.

quelle UMWELTBUNDESAMT (UBA) 2012.

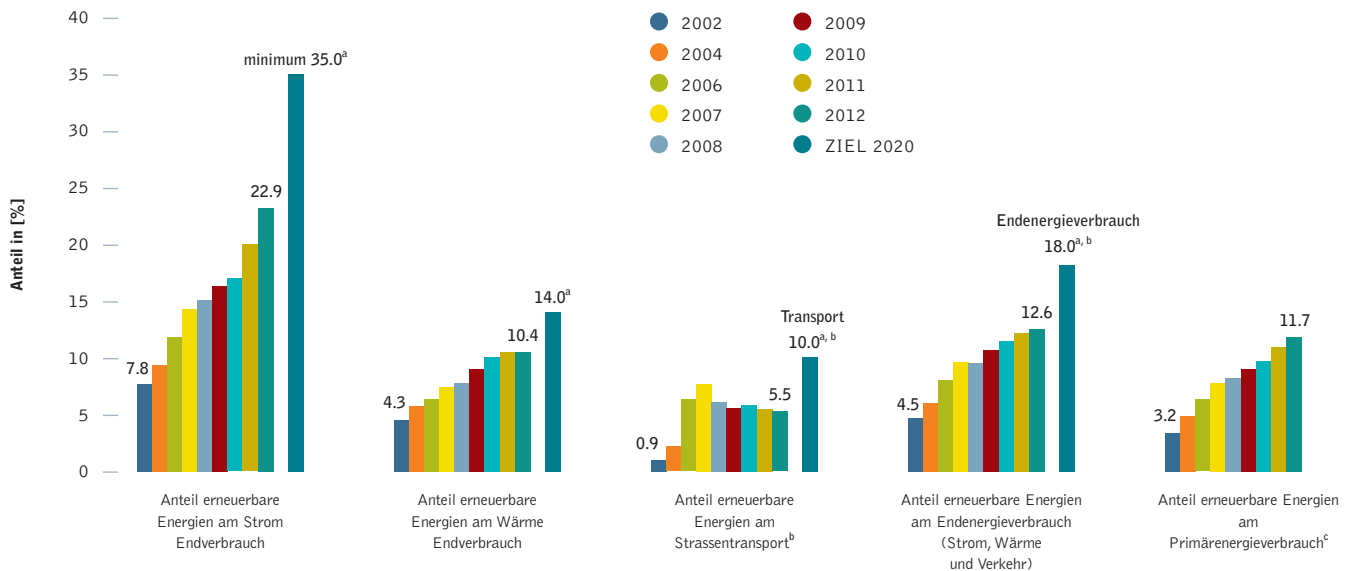


Als die ersten acht Reaktoren ausgeschaltet wurden, prophezeiten die vier grossen Stromversorger, es werde im Winter 2011/12 zu einem gewaltigen Stromausfall kommen oder Deutschland müsse Strom aus Nachbarländern importieren; zudem würden die Strompreise steigen und den Wirtschaftsstandort gefährden. Nichts davon ist eingetreten.

Deutschland hat nach mehr als einem Jahrzehnt des Ausbaus von erneuerbaren Energien und auch nach der Abschaltung von 8 Atomkraftwerken keinen Blackout erlebt. Deutschland ist nach wie vor die stärkste Volkswirtschaft in Europa und hat im Sektor der erneuerbaren Energien rund 370 000 Arbeitsplätze geschaffen. Die Erträge der erneuerbaren Kraftwerke betragen im Jahr 2012 rund 14,4 Mia. EUR. Die Bundesnetzagentur sieht in ihrer Analyse der Stromversorgung im Winter 2012/13 keine Gefahr für die Netzstabilität durch den Ausbau der erneuerbaren Energien.⁵² Deutschland exportierte 2012 netto 23,1 Milliarden kWh Strom (67,3 Mrd. kWh Exporte und 44,2 Mrd. kWh Importe⁵³). Auch im Winter wird Strom exportiert: Während der Kältewelle im Februar 2012 hat Deutschland sogar Strom an die Nuklearnation Frankreich geliefert. Es gab keinen erhöhten Import von Atomstrom.⁵⁴

Veränderung des Strommix in Deutschland: Deutschland bezog 2012 nur noch 16% Strom aus Atomkraftwerken.⁵⁵ In den Jahren 2010 und 2011 war der Beitrag der Atomkraft bereits von 22% auf 18% gesunken. Die wegfallenden Mengen wurden überwiegend durch Strom aus erneuerbaren Energien wettgemacht, die im letzten Jahrzehnt massiv ausgebaut wurden (vgl. Abbildungen 4.11 und 4.12). In den Jahren 2002 bis 2012 stieg der erneuerbare Anteil der Stromproduktion von 7,8% auf 22,9% (Abbildung 4.12).

Abbildung 4.11: Entwicklung des Anteils erneuerbarer Energieträger 2002–2012 und Zielsetzungen für 2020 bei der Energieversorgung Deutschlands



quelle
a ZIELSETZUNGEN DER DEUTSCHEN ENERGIEWENDE, ERNEUERBARE-ENERGIEN-GESETZ EEG, ERNEUERBARE-ENERGIEN-WÄRMEGESETZ EEWÄRMEG, EU DIREKTIVE 2009/28/EC.
b TOTALVERBRAUCH VON TREIBSTOFFEN OHNE FLUGVERKEHR.
c BERECHNET MIT DER EFFIZIENZ-METHODE; QUELLE: ARBEITSGEMEINSCHAFT ENERGIEBILANZEN AGEb; BMU, ANTEILUNG KLIMASCHUTZ AUF BASIS DER ARBEITSGRUPPE ERNEUERBARE ENERGIEN-STATISTIK AGE-STAT, STAND: MÄRZ 2013, VORLÄUFIGE ZAHLEN.

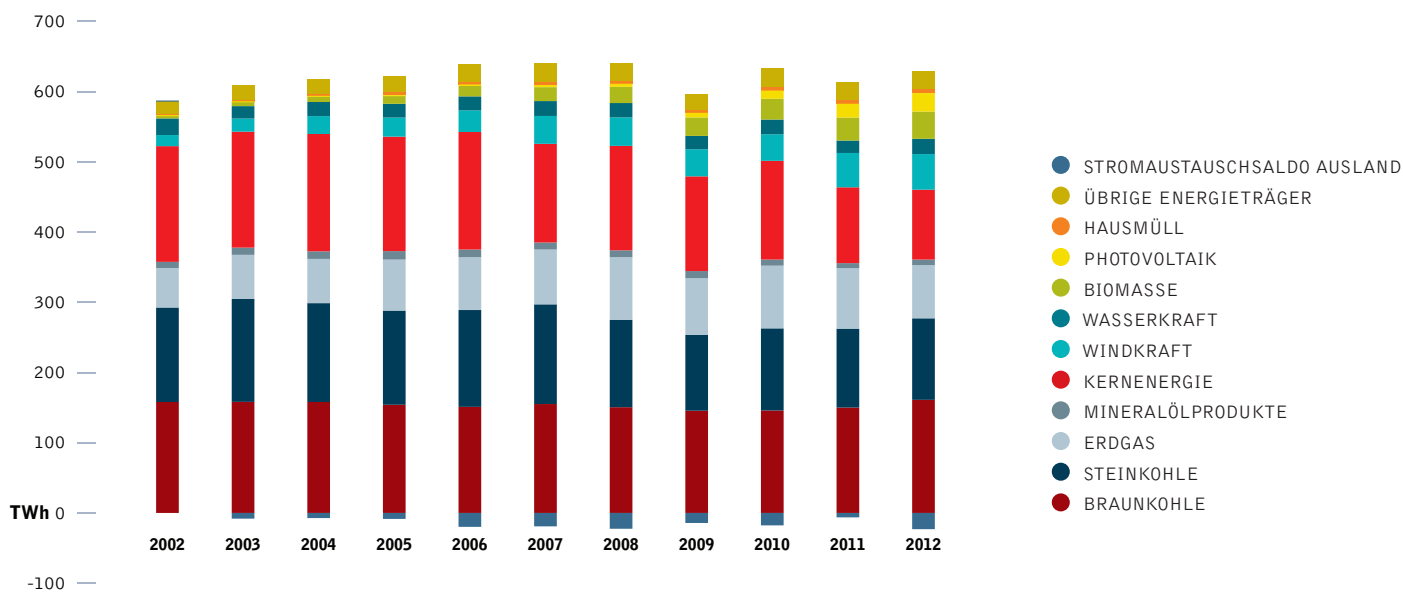
referenz
52 BERICHT ZUM ZUSTAND DER LEITUNGSGBEDENEN ENERGIEVERSORGUNG IM WINTER 2012/13 DER BUNDESNETZAGENTUR:
[HTTP://WWW.BUNDESNETZAGENTUR.DE/SHAREDDOCS/DOWNLOADS/DE/SACHGEBIETE/ENERGIE/UNTERNEHMEN_INSTITUTIONEN/VERSORGUNGSSICHERHEIT/BERICHTE_FALLANALYSEN/BERICHT130620.PDF?_BLOB=PUBLICATIIONFILE&V=1](http://www.bundesnetzagentur.de/shareddocs/downloads/de/sachgebiete/energie/unternehmen_institutionen/versorgungssicherheit/berichte_fallanalyse/winter130620.pdf?_blob=publicationfile&v=1)
53 PRESSEMITTEILUNG DES BUNDESVERBANDS DER ENERGIE- UND WASSERWIRTSCHAFT E.V. 12.9.2011:
[HTTP://WWW.BDEW.DE/INTERNET.NSF/ID/8EF9E5927BDAAE28C12579260029ED3B/\\$FILE/110912%20RICHTIGSTELLUNG%20IMPORT-EXPORT-ZAHLEN_ENGLISCH.PDF](http://www.bdew.de/INTERNET.NSF/ID/8EF9E5927BDAAE28C12579260029ED3B/$FILE/110912%20RICHTIGSTELLUNG%20IMPORT-EXPORT-ZAHLEN_ENGLISCH.PDF)
54 STUDIE DES ÖKO-INSTITUTS (2013) IM AUFTRAG VON GREENPEACE: « AUSWIRKUNGEN DES DEUTSCHEN KERNENERGIE-AUSSTIEGS AUF DEN STROMAUSTAUSCH MIT DEN NACHBARLÄNDERN » :
[HTTP://WWW.GREENPEACE.DE/FILEADMIN/GPD/USER_UPLOAD/THEMEN/ATOMKRAFT/GREENPEACE-STUDIE_ATOMSTROMIMPORTE_JAN13_DEUTSCH.PDF](http://www.greenpeace.de/fileadmin/gpd/user_upload/themen/atomkraft/greenpeace-studie_atomstromimporte_jan13_deutsch.pdf)
55 BUNDESAMT FÜR STATISTIK, AGEb 2013.

Abbildung 4.12 zeigt, dass der fossile Anteil im Jahr 2012 etwa auf dem Niveau der Jahre 2010 und 2011 verharrte. Damit lag er unter den Jahren 2003–2008. Der Einsatz von **Braunkohle** (dem treibhausgasintensivsten fossilen Brennstoff der deutschen Stromproduktion) hat aber im fossilen Bereich an Terrain gewonnen und stieg 2010–2012 von 23% auf 25,7% des Endverbrauchs. Das liegt vor allem daran, dass Braunkohle massiv subventioniert wird und der CO₂-Markt in Europa nicht funktioniert. Die *vorübergehende* Zunahme von Kohlestrom ist nicht auf die Abschaltung der Atomkraftwerke zurückzuführen, sondern einerseits auf die Tatsache, dass es für die Betreiber finanziell interessant ist, die Auslastung ihrer Kraftwerke zu maximieren. Und andererseits auf eine Kohlekraftwerksplanung, die nach wie vor durch staatliche Subventionen und den nicht

funktionierenden europäischen CO₂-Markt angeheizt wird. Würden die Subventionen gestrichen und der CO₂-Markt auch nur ansatzweise funktionieren, kämen Gaskraftwerke vor Kohlekraftwerken zum Einsatz. In Ländern ohne flexible Kapazitäten aus erneuerbaren Quellen wie der Schweizer Wasserkraft sind flexibel einsetzbare Gaskraftwerke eine mögliche Brückentechnologie für den Übergang in eine erneuerbare Stromversorgung, weil sie deutlich klimafreundlicher und besser steuerbar sind als Kohlekraftwerke.

Das Ausbautempo der erneuerbaren Energien sowie die damit verbundenen Kostensenkungen sind enorm, wie die Abbildung 4.13 zur Entwicklung der Photovoltaik in Deutschland im Vergleich zur Schweiz zeigt.

Abbildung 4.12: Zusammensetzung der Stromproduktion in Deutschland 2002–2012 (TWH PRO JAHR)



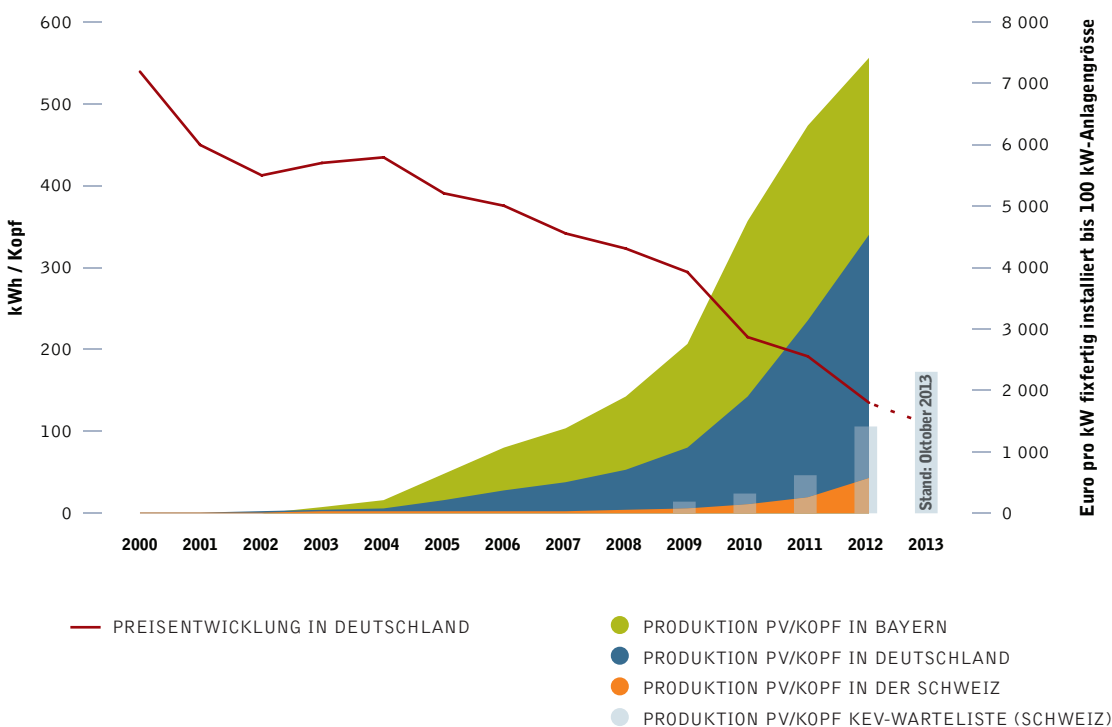
quelle BUNDESAMT FÜR STATISTIK, AGEB 2013



Die wirtschaftliche Seite des Ausbaus: Die Umlage auf den Strompreis zur Finanzierung des Ausbaus der erneuerbaren Energien in Deutschland liegt im Jahr 2012 bei 5,6 Cent pro kWh. Davon sind lediglich 49% (oder 96 EUR pro Jahr für einen typischen Haushalt mit 3500 kWh Endverbrauch) reine Förderkosten für den Ausbau der erneuerbaren Energien. Der Rest wird hauptsächlich fällig, weil grosse Teile der Industrie von der Bezahlung der Umlage befreit sind (25% oder 1,4 Cent/kWh) und weil die durch die erneuerbaren Energien verursachte Absenkung des Börsenstrompreises nicht an die Konsumenten weitergegeben wird (19% oder 1,06 Cent/kWh).⁵⁶ Diesen Kosten stehen 370 000 neue Arbeitsplätze im Sektor der erneuerbaren Energien und Erträge von rund 14,4 Mia. EUR gegenüber. So gesehen ist die EEG-Umlage eine gute Investition in eine zukunftsfähige regionale Stromversorgung.

Dass der Betrag, der für die Förderung der Erneuerbaren ausgegeben wird, explizit auf der Stromrechnung steht, täuscht darüber hinweg, dass konventionelle Energien aus Atom- und Kohlekraftwerken vom Steuerzahler stärker subventioniert werden. Das Institut für ökologische Wirtschaftsforschung hat für Deutschland eine **Konventionelle-Energien-Umlage** für das Jahr 2012 mit 10,2 Cent/kWh etwa das Doppelte der Umlage für erneuerbare Energien errechnet.⁵⁷ Die Fachexperten des europäischen Energiekommissars Günther Oettinger haben die Zahlen für ganz Europa untersucht und ein noch krasserer Missverhältnis gefunden: Die Stromproduktion wird in der EU jährlich mit 130 Milliarden subventioniert. Von dieser Summe gehen aber nur 30 Milliarden jährlich an die erneuerbaren Energien, der Rest fliesst in die Förderung von Atom- und Kohlekraftwerken. Die Konventionelle-Energien-Umlage kommt also mehr als drei Mal teurer als die heutige Umlage für erneuerbare Energien.⁵⁸

Abbildung 4.13: Pro-Kopf-Zubau und Preisentwicklung der Photovoltaik in Deutschland und im Bundesland Bayern im Vergleich zum Ausbau in der Schweiz und zur projizierten Produktion aller Anlagen auf der Warteliste der Schweizerischen Förderung für erneuerbare Energien



quelle BUNDESAMT FÜR STATISTIK, AGEB 2013, SCHWEIZERISCHE ENERGIESTATISTIK, SWISSGRID KEV-STATISTIK UND ENERGIEATLAS BAYERN.

referenz

- ⁵⁶ [HTTP://WWW.UNENDLICH-VIEL-ENERGIE.DE/DE/DETAILANSICHT/ARTICLE/226/ZUSAMMENSETZUNG-
DER-EEU-URLAGE-2013.HTML](http://www.unendlich-viel-energie.de/de/detailansicht/article/226/zusammensetzung-der-eeu-umlage-2013.html)
- ⁵⁷ STUDIE: WAS STROM WIRKLICH KOSTET, ERSTELLT DURCH DAS FORUM ÖKOLOGISCH-SOZIALE MARKTWIRTSCHAFT FÖS AUFTRAG VON BUNDESVERBAND WINDENERGIE UND GREENPEACE ENERGY: [HTTP://WWW.GREENPEACE-
ENERGY.DE/UPLOADS/MEDIA/STROMKOSTENSTUDIE_GREENPEACE_ENERGY_BWE.PDF](http://www.greenpeace-energy.de/uploads/media/stromkostenstudie_greenpeace_energy_bwe.pdf)
- ⁵⁸ BERICHT IN DER SÜDDEUTSCHEN VOM 14.10.2013 «OETTINGER SCHÖNT SUBVENTIONSBERICHT»: [HTTP://WWW.SUEDDEUTSCHE.DE/WIRTSCHAFT/FOERDERUNG-DER-ENERGIEBRANCHE-OETTINGER-
SCHOENT-SUBVENTIONSBERICHT-1.1793957](http://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/foerderung-der-energiebranche-oettinger-schoent-subventionsbericht-1.1793957)

4.5 Das E[R]-Szenario im Vergleich mit anderen Szenarien und der Realität

Greenpeace hat im vergangenen Jahrzehnt in Zusammenarbeit mit Industrieverbänden für erneuerbare Energien und mit wissenschaftlichen Instituten zahlreiche Szenarien veröffentlicht. Diese wurden immer wieder als unrealistisch, ja utopisch kritisiert. Die folgenden Abschnitte zeigen, dass die konservativen Szenarien von renommierten Organisationen wie zum Beispiel der Internationalen Energieagentur IEA viel weiter weg von der Realität liegen als die Greenpeace-Szenarien.

4.5.1 Entwicklung der globalen Wind- und Photovoltaikbranche

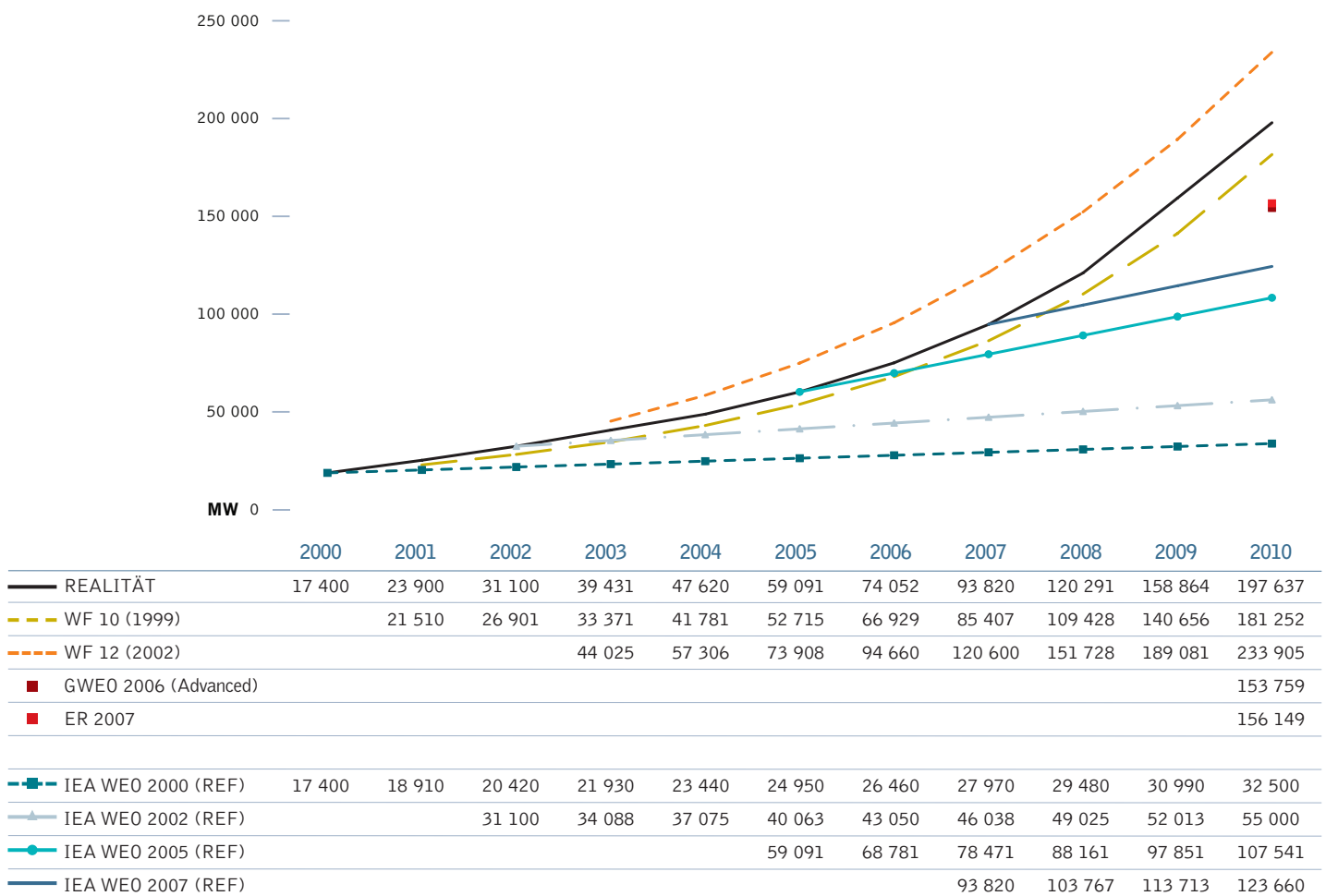
Greenpeace und die European Wind Energy Association haben «Windforce 10» erstmals 1999 veröffentlicht. Dabei handelt es sich um eine globale Marktprognose für Windkraftanlagen bis zum Jahr 2030. Seither werden alle zwei Jahre aktualisierte

Prognosen veröffentlicht. Seit 2006 erscheint der Bericht unter dem neuen Namen «Global Wind Energy Outlook» mit einem neuen Partner – dem Global Wind Energy Council (GWEC), einer neuen Dachorganisation aller regionalen Industrieverbände der Windenergiebranche.

Abbildung 4.14 zeigt die Prognosen, die von 2000 bis 2010 jedes Jahr gemacht wurden, sowie die realen Marktdaten. Das Schaubild enthält auch die erste Ausgabe der «Energie-[R]evolution» (2007) im Vergleich zu den Windkraftprojektionen der IEA, die im «World Energy Outlook» (WEO) 2000, 2002, 2005 und 2007 veröffentlicht wurden.

«Windforce 10» (2001–2011) machte ziemlich genaue Prognosen für den globalen Windenergiemarkt: Sie lagen rund 10% unter der tatsächlichen Marktentwicklung. Auch spätere Ausgaben lagen in einem 10%-Korridor über bzw. unter der realen Entwicklung. 2006 betrachtete der neue «Global Wind Energy Outlook» zwei Szenarien: eine Prognose für moderate und eine für fortschrittliche

Abbildung 4.14: Wind-Kraft: Szenarien im Vergleich mit der realen Entwicklung





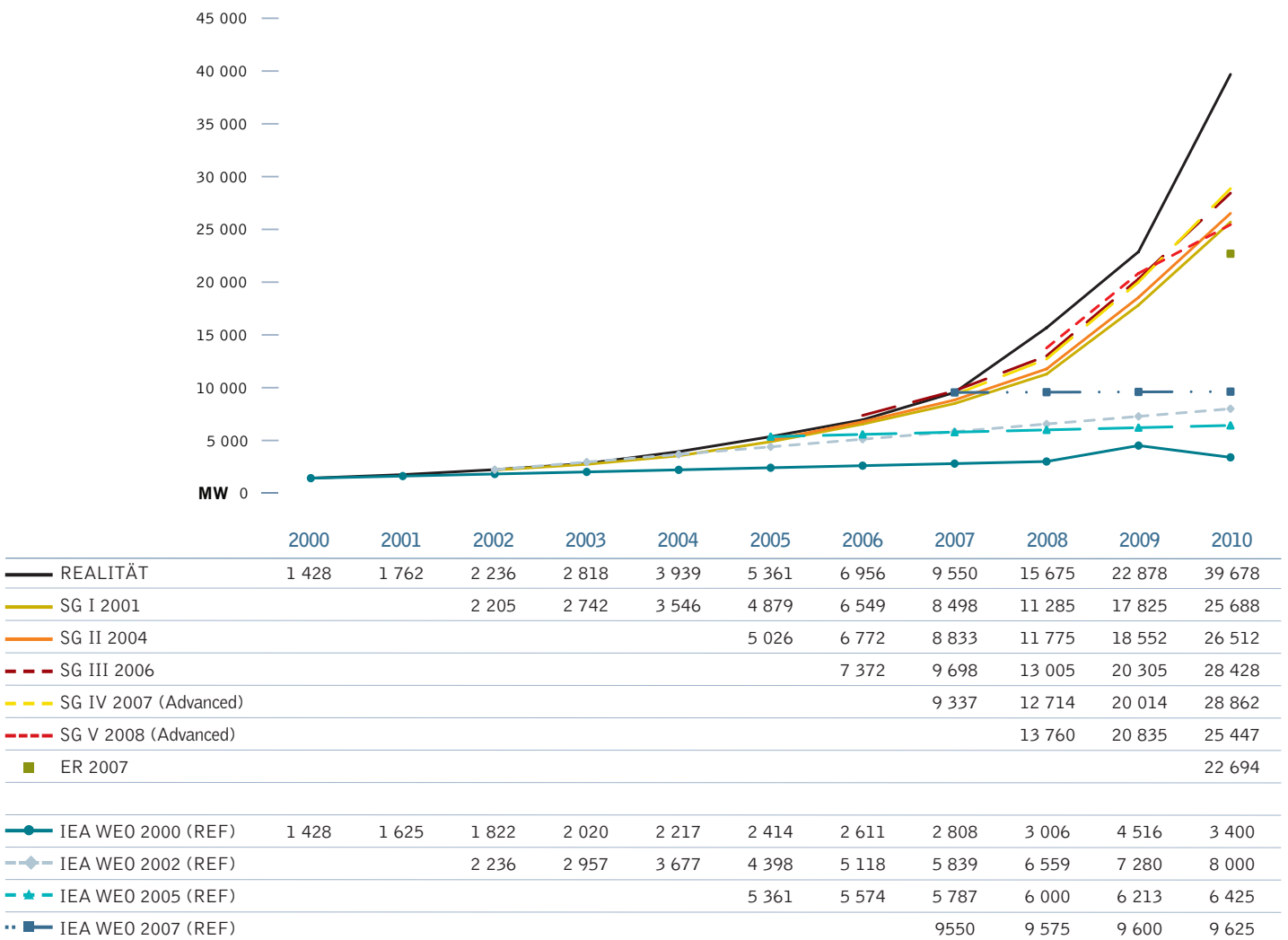
Entwicklungen im Windenergiemarkt, die GWEC und Greenpeace International berechnet hatten. An dieser Stelle werden lediglich die fortschrittlichen Prognosen aufgeführt, da sich die moderaten Prognosen als zu niedrig erwiesen. Doch gerade diese Prognosen wurden damals stark kritisiert und als «zu ehrgeizig» oder gar «unmöglich» beschrieben.

Demgegenüber haben die «Current Policy»-Prognosen der IEA die Steigerung der Produktionskapazität und die Senkung der Kosten in der Windenergiebranche deutlich unterschätzt. Im Jahr 2000 veröffentlichte die IEA in ihrem WEO-Bericht eine Prognose, nach der die global installierte Leistung aus Windkraftanlagen im Jahr 2010 rund 32 500 MW betragen würde. So viel war jedoch schon Anfang 2003 am Netz, zweieinhalb Jahre später. Im Jahr 2010 lag die globale Leistung aus Windkraftanlagen bei fast 200 000 MW – rund sechsmal höher als von der IEA prognostiziert.

Inspiziert von der erfolgreichen Zusammenarbeit mit der EWEA begann Greenpeace eine Kooperation mit der European Photovoltaic Industry Association, um «SolarGeneration 10» zu veröffentlichen. Diese globale Marktprognose für die Photovoltaik bis zum Jahr 2020 erschien erstmals 2001. Seither kamen sechs Ausgaben heraus, wobei die EPIA und Greenpeace ihre Berechnungsmethode mit Hilfe der Experten beider Organisationen stetig verbesserten.

Abbildung 4.15 zeigt die Prognose für die Jahre 2000 bis 2010 im Vergleich mit der realen Marktentwicklung, die erste Ausgaben von «Energie-[R]evolution» (2007) und die Prognosen der IEA für die Solarenergie, die im World Energy Outlook 2000, 2002, 2005 und 2007 veröffentlicht wurden. Die IEA hat in den ersten Ausgaben keine spezifischen Prognosen für die Photovoltaik gemacht, an ihrer Stelle enthält Abbildung 4.15 die Daten in der Kategorie «Solar/Gezeiten/Sonstige».

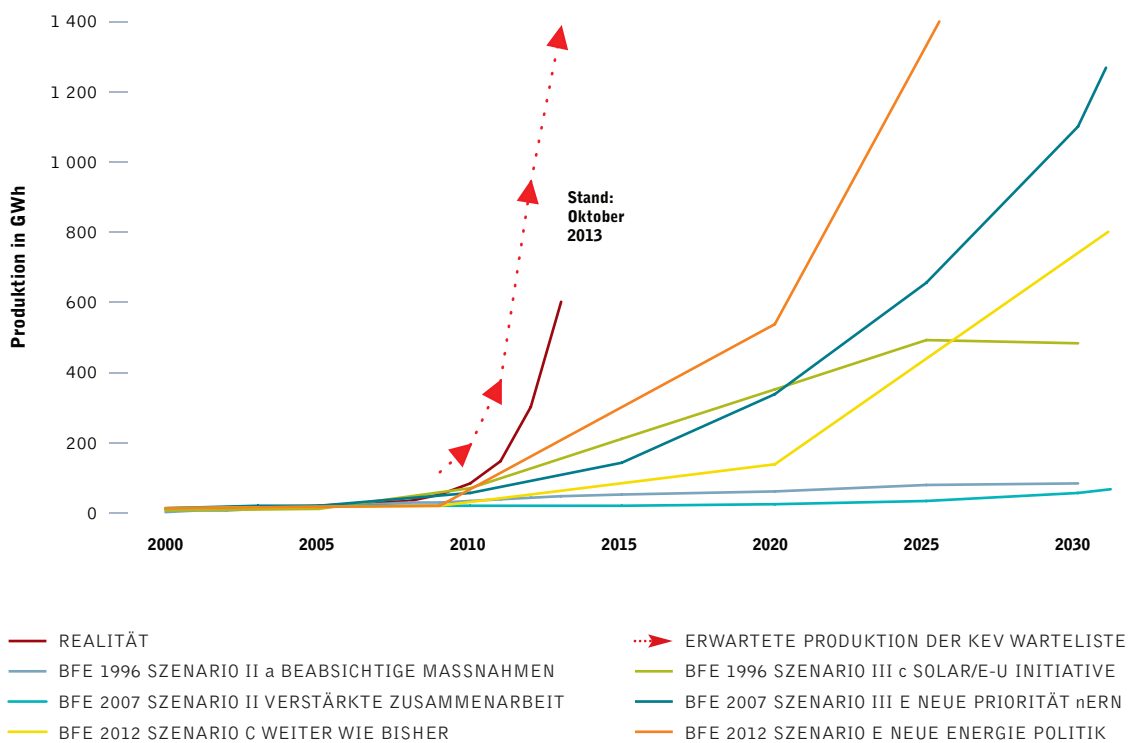
Abbildung 4.15: Photovoltaik: Szenarien im Vergleich mit der realen Entwicklung



Im Gegensatz zu den Prognosen zur Windenergie erwiesen sich alle «SolarGeneration»-Prognosen bisher als zu konservativ. Die installierte Gesamtleistung betrug 2010 nahezu 40 000 MW, rund 30% mehr als zehn Jahr zuvor in «SolarGeneration» vorhergesagt. Auch «SolarGeneration 5» (2008) unterschätzte das mögliche Wachstum des Photovoltaikmarkts selbst im fortgeschrittenen Szenario. Die IEA-WE0-2000-Schätzungen für 2010 wurden bereits 2004 erreicht.

Für die Schweiz werden seit über 20 Jahren Energieszenarien gerechnet. Ein Vergleich der Jahre 1996, 2007 und 2012 mit der realen Entwicklung fördert Interessantes zutage: Er zeigt, ähnlich wie im globalen Vergleich, dass die reale Entwicklung vor allem der Photovoltaik die Annahmen der Szenarien (auch in den neusten Bundesszenarien aus dem Jahr 2012) weit übertroffen hat. Der folgende Vergleich der realen PV-Entwicklung mit den PV-Szenarien des Bundes (errechnet von Prognos) zeigt dies deutlich.

Abbildung 4.16: Photovoltaik: Szenarien im Vergleich mit der Realität in der Schweiz



quelle ENERGIESTATISTIK, SWISSOLAR, BUNDESAMT FÜR ENERGIE BFE UND PROGNOSEBERICHTE ZU DEN ENERGIESZENARIOEN FÜR DIE SCHWEIZ.

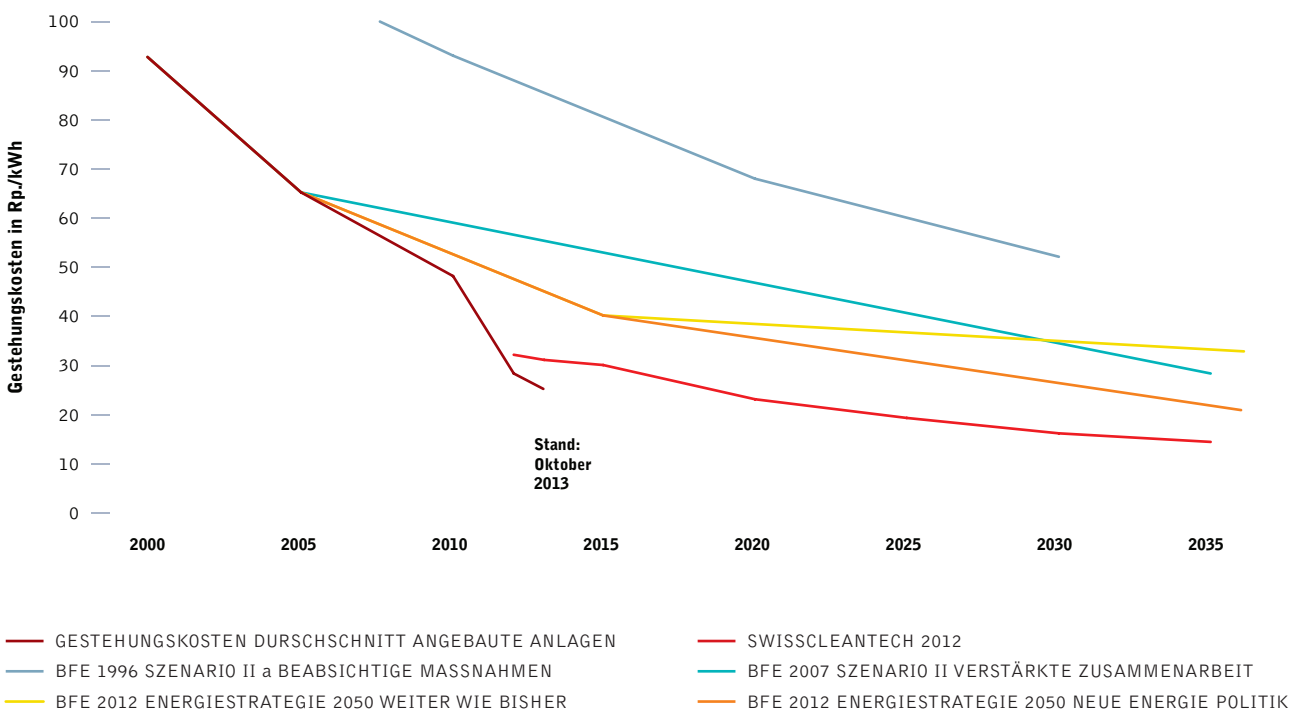
bild SOLARTHERMISCHE ANLAGE «GEMASOLAR» MIT LOKALER SPEICHERUNG DER WÄRME IN EINER SALZLÖSUNG UND EINE DAMPFTURBINENLEISTUNG VON 15 MWEL. DIE LOKALE SPEICHERUNG ERLAUBT DIE ERHÖHUNG DER VOLLLASTSTUNDEN AUF 6570 STUNDEN PRO JAHR.



Es fällt auf, dass die reale Entwicklung selbst den neusten Bundesszenarien aus dem Jahr 2012 schon um 5 Jahre voraus ist. Die Anlagen, die heute auf eine Förderung warten, bilden den im Jahr 2012 prognostizierten Ausbau der nächsten 10 Jahre ab.

Bei den Gestehungskosten zeigt sich ein umgekehrtes Bild: In den Szenarien von 1996, 2007 und 2012 wurden sie massiv überschätzt. Swisscleantech liegt näher an der realen Entwicklung.

Abbildung 4.17: Photovoltaik Stromgestehungskosten: Szenarien im Vergleich mit der Realität in der Schweiz



quelle SWISSOLAR, BUNDESAMT FÜR ENERGIE BFE UND PROGNOSEBERICHTE ZU DEN ENERGIESZENARIOEN FÜR DIE SCHWEIZ, ENERGIESTRATEGIE SWISSCLEANTECH 2012.

Inländische Investitionen, neue Jobs und bezahlbare Energiepreise

INVESTITIONEN UND
GESTEHUNGSKOSTEN DER
STROMERZEUGUNG

KÜNFTIGE INVESTITIONEN IM
WÄRMESEKTOR

ARBEITSPLÄTZE FÜR DIE ZUKUNFT



Reich
werden wir
nicht, wenn

wir die Menschen und
die Natur ausbeuten.
Reich werden wir,
wenn wir die
Menschen und die
Natur schätzen.»

Doris Leuthard, 2013

bild SATELLITENAUFNAHME DER STADT ZÜRICH. DIE ZUNAHME VON HITZEWELLEN DURCH DEN KLIMAWANDEL TRIFFT BESONDERS MENSCHEN IN STÄDTEN.



Der im vorherigen Kapitel besprochene Umbau des Energiesystems kann ohne Investitionen nicht erreicht werden. Bei den politischen Weichenstellungen werden vor allem Kosten und Nutzen und ihr Verhältnis zueinander genau betrachtet.

Die mit der Energiewende verbundenen Kosten und Nutzen für die Schweiz wurden mehrfach untersucht. Swisscleantech hat die Resultate aus 13 Energiestudien aufgearbeitet und das Ergebnis Ende Januar 2013 an einer Medienkonferenz präsentiert.⁵⁹ Fazit: Trotz unterschiedlicher Methodik und Detailtiefe liegen die Resultate der Berechnungen recht nahe beieinander. Auf der Ebene der gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen resultieren im Vergleich zum Referenzszenario bis 2050 Veränderungen der jährlichen BIP-Wachstumsraten von $-0,02$ bis $-0,08\%$ oder absolute BIP-Veränderungen von $-0,4$ bis $-2,7\%$. Im Vergleich mit den jährlichen Wachstumsraten der vergangenen Jahre entspricht das für den gesamten Zeithorizont von mehr als 40 Jahren einem Wachstumsverlust von knapp einem, vielleicht zwei Jahren.

Die Berechnungen erfolgten unter Verwendung von eher moderaten Preispfaden für importierte fossile Energieträger und ohne Berücksichtigung von indirekten positiven Auswirkungen bzw. ohne Verringerungen von negativen externen Kosten wie zum Beispiel Gesundheitskosten, weil Lärmemissionen oder Luftverschmutzungen krank machen. Werden diese ebenfalls berücksichtigt – aus unserer Sicht einer der wesentlichen Gründe für die Umsetzung der Energiewende –, dann resultieren Wohlfahrtseffekte in der Grössenordnung von $+2\%$ bis $-0,42\%$. Daher lautet unser Fazit zu den Berechnungen, die Swisscleantech analysiert hat: Es resultiert eine rote oder eine schwarze Null mit sehr guten Chancen, insgesamt einen positiven Nutzen zu erreichen. Wenn die Preise für fossile Energien stärker steigen, wird der Nutzen immer grösser, sodass die Investitionen zunehmend als attraktive Versicherung gegen einen Preisanstieg gelten können.⁶⁰

Um besser abzuschätzen, wie die in der Energy [R]evolution vorgeschlagene echte Energiewende aus Kosten-Nutzen-Sicht dasteht, haben die Experten des DLR die Investitionen für den Umbau der Strom- und der Wärmeversorgung grob beziffert und

mit dem POM-Szenario des Bundes verglichen. Zusätzlich haben Experten vom Institute for Sustainable Futures der Universität Sydney die Arbeitsplatzeffekte der Energy [R]evolution mit denen des POM-Szenarios verglichen. Die Berechnungen und qualitativen Abschätzungen zeigen, dass die Umsetzung der Energy [R]evolution kurzfristig erhöhte Investitionen bedingt, mittel- bis langfristig aber einen erhöhten gesellschaftlichen Nutzen in Form von günstigeren Energiekosten, regionalen Arbeitsplätzen und verringerten Abhängigkeiten von möglichen Preisschocks bei importierten Energien bringt.

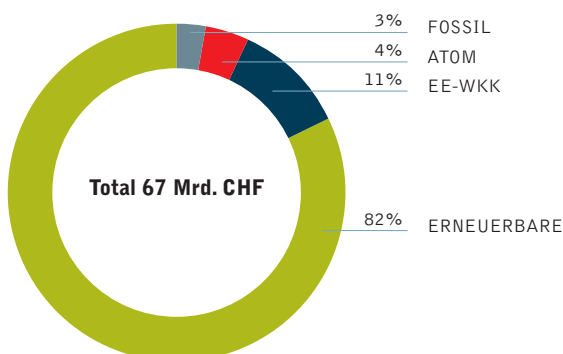
5.1 Investitionen und Gestehungskosten der Stromerzeugung

Um die Energy [R]evolution Wirklichkeit werden zu lassen, sind Investitionen für die Erneuerung der Kraftwerkskapazitäten in der Höhe von rund 88 Mrd. CHF erforderlich (einschliesslich Investitionen für den Austausch von Kraftwerken nach Ablauf der wirtschaftlichen Nutzungsdauer). Das sind rund 2,1 Mrd. CHF pro Jahr und insgesamt 21 Mrd. CHF mehr als im Referenzszenario POM mit total 67 Mrd. CHF bis 2050. In beiden Szenarien geht der Grossteil der Investitionen in erneuerbare Energien, wobei im Referenzszenario ein Anteil für Nuklearanlagen und fossile Kraftwerke verbleibt und insgesamt weniger erneuerbare Energien zugebaut werden.

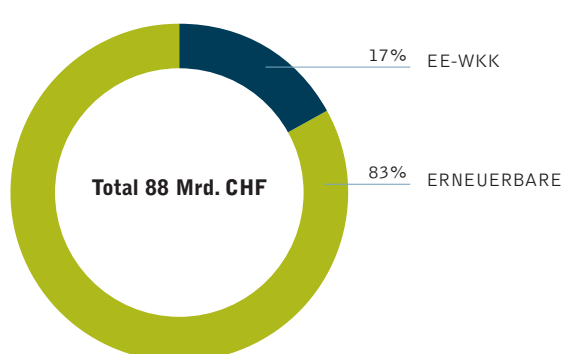
Dennoch ist das E[R]-Szenario wirtschaftlich interessanter als das Referenzszenario. Denn bei den meisten erneuerbaren Energien fallen keine Brennstoff- und nur geringe Unterhaltskosten an. Die Einsparungen für Brennstoffe und Unterhalt bei der Energy [R]evolution betragen im Unterschied zur Referenz bis 2050 insgesamt rund 39 Mrd. CHF. Anfänglich führt die Energy [R]evolution wegen der forcierten Einführung der erneuerbaren Energien zu höheren Stromgestehungskosten als im Referenzszenario des Bundes POM. Nach 2030 sinken die Gestehungskosten der Energy [R]evolution im Vergleich zur Referenz stark, weil steigende Preise von konventionellen Brennstoffen und CO₂-Emissionen die Referenz verteuern. Im Jahr 2050 weist das E[R]-Szenario rund 10% tiefere Strompreise aus. (Siehe Abbildung 5.2).

Abbildung 5.1: Investitionen in den Umbau der Stromversorgung bis 2050 – Referenzszenario vs. Energie-[R]evolution

POM 2011 - 2050



E[R] 2011 - 2050



referenz

59 [HTTP://WWW.SWISSCLEANTECH.CH/FR/ARTICLE/?TX_TTNEWS%5BTT_NEWS%5D=427&CHASH=3AAEC8FB0E84921B811C30897F30B54](http://www.swisscleantech.ch/fr/article/?TX_TTNEWS%5BTT_NEWS%5D=427&CHASH=3AAEC8FB0E84921B811C30897F30B54)
 60 [HTTP://WWW.ENERGIESTIFTUNG.CH/FILES/TEXTDATEIEN/ENERGIETHEMEN/ENERGIEPOLITIK/SES-STUDIE_KOSTEN_GANZE-STUDIE.PDF](http://www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energiethemen/energiepolitik/ses-studie_kosten_ganze-studie.pdf)

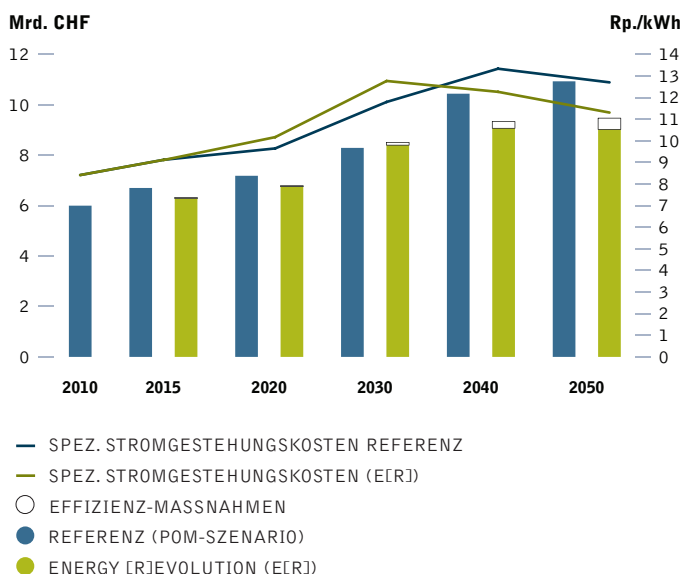


Netto sprechen wir also von Gesamtinvestitionen im Umfang von 49 Mrd. CHF (88 minus 39 Mrd.) bzw. von rund 18 Mrd. CHF Kosten als im Referenzszenario. Zudem werden Kraftwerke, die erneuerbare Energien nutzen, weiterhin Strom produzieren, ohne dass nach 2050 weitere Rohstoffkosten anfallen, wogegen die Erdgaskosten im Referenzszenario die Volkswirtschaft weiterhin belasten würden.

Die notwendigen Investitionen und Kosten für den Umbau der Stromnetze sind in den obigen Berechnungen nicht berücksichtigt. Da die bestehenden Stromnetze mehrheitlich über 40 Jahre alt sind, kann ein Teil des Umbaus im Rahmen der normalen Erneuerungsprozesse erfolgen. Im Vergleich zu den Investitionen in die Erneuerung des Kraftwerksparks fallen die Investitionen in den Netzbau eher tief aus. Die Kostenschätzungen im Auftrag des Bundesamtes für Energie⁶¹ zeigen:

- Beim verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien (Szenario «Neue Energiepolitik» NEP) fallen die Kosten auf der Übertragungsnetzebene im Vergleich zum «Weiter wie bisher»-Szenario geringer aus (rund 200 Millionen CHF Einsparungen bis 2050 bei Totalinvestitionen von rund 2 Mrd. CHF). Dafür müssen auf der Ebene der Verteilnetze bis 2050 rund 650 Millionen CHF mehr investiert werden (bei Totalinvestitionen zwischen 3,9 und 12,6 Mrd. CHF). Wir gehen davon aus, dass sich diese Effekte für das E[R]-Szenario nochmals leicht verstärken.

Abbildung 5.2: Entwicklung der jährlichen Kosten der Stromversorgung und der spezifischen Stromerzeugungskosten in den beiden Szenarien POM und E[R]



- Die berechneten Mehrkosten bei den Verteilnetzen liegen für einen typischen Haushalt im Jahr 2050 bei etwa 50 bis 70 CHF pro Jahr. Das heisst, die jährlichen Kosten für die Netznutzung betragen dann statt 550 CHF wie im Szenario «Weiter wie bisher» schätzungsweise 600 bis 620 CHF.

Fazit: Der Umbau des Stromsektors inklusive Netze kommt im Energy-[R]evolution-Szenario insgesamt günstiger, wenn auch zu Beginn deutlich höhere Investitionen getätigt werden müssen.

5.2 Künftige Investitionen im Wärmesektor

Im Wärmesektor des E[R]-Szenarios ist eine massive Überarbeitung der aktuellen Investitionsstrategien im Bereich der Heiztechnik erforderlich. Besonders im Bereich der Solar- und Wärmepumpentechnik muss die Anzahl Anlagen erheblich zunehmen. Die installierte Leistung muss bei der thermischen Solartechnik um den Faktor 20 und bei Wärmepumpen um den Faktor 10 erhöht werden. Hier unterscheidet sich die E[R] deutlich vom Referenzszenario des Bundes. Die durch Biomasse erbrachte Leistung wird wegen der Begrenzung des ökologischen Potenzials und des steigenden Biomassebedarfs im Verkehrssektor zwar sinken, aber ein wichtiger Eckpfeiler der Wärmeversorgung bleiben.

Tabelle 5.1: Installierte Leistung zur regenerativen Wärmeerzeugung in den Szenarien POM und E[R] (ohne Berücksichtigung von direkter elektrischer Beheizung und Wärme-Kraft-Kopplung) ^{IN GW}

		2010	2020	2030	2040	2050
Biomasse	REF	6,2	7	6	6	5
	E[R]	6,2	6	5	4	3
Geothermie	REF	0	0	0	0	0
	E[R]	0	0	0	0	0
Solarthermie	REF	0,5	1	2	3	4
	E[R]	0,5	2	6	10	11
Wärmepumpen	REF	2,6	6	8	10	10
	E[R]	2,6	7	12	18	20
Total	REF	9,3	13	17	19	19
	E[R]	9,3	15	23	31	34

referenz

⁶¹ [HTTP://WWW.BFE.ADMIN.CH/THEMEN/00526/00527/INDEX.HTML?LANG=DE&DOSSIER_ID=05024](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=de&doossier_id=05024): STUDIE «ENERGIESTRATEGIE 2050» BERICHT DES TEILPROJEKTS «ENERGIENETZE UND AUSBAUKOSTEN» (CONSENTEC 2012).



Erneuerbare Heiztechnologien sind ausserordentlich variabel – von technisch anspruchslosen Biomasseöfen und unverglasten Sonnenkollektoren bis hin zu ausgeklügelten geothermischen Anlagen und solarthermischen Regionalkraftwerken mit saisonaler Speicherung. Daher lässt sich nur grob schätzen, dass im E[ER]-Szenario bis 2050 insgesamt rund 65 Mrd. CHF oder rund 1,6 Mrd. CHF pro Jahr in regenerative Heiztechnologien investiert werden müssten (einschliesslich Investitionen für den Austausch von Anlagen nach Ablauf der wirtschaftlichen Nutzungsdauer). Im Referenzszenario müssten dagegen rund 33 Mrd. CHF in erneuerbare Heiztechnologien investiert werden. Dafür sind im Referenzszenario zusätzlich Investitionen in nicht erneuerbare Heiztechnologien nötig, die hier nicht beziffert werden.

Dank der erhöhten Anzahl Heizungen mit erneuerbaren Energien können im E[ER]-Szenario gegenüber der Referenz POM massiv Brennstoffkosten eingespart werden. Grob berechnet, werden bei den im E[ER]-Szenario verwendeten Preispfaden für fossile Energien im Vergleich zur Referenz für den Zeitraum 2010 bis 2050 rund 90 Mrd. CHF oder knapp 2.16 Mrd. CHF/a eingespart. Damit werden die etwa doppelt so hohen Investitionen des E[ER]-Szenarios ca. 3 mal wieder wettgemacht (Grobrechnung ohne Einbezug von Zinskosten für die Investitionen).

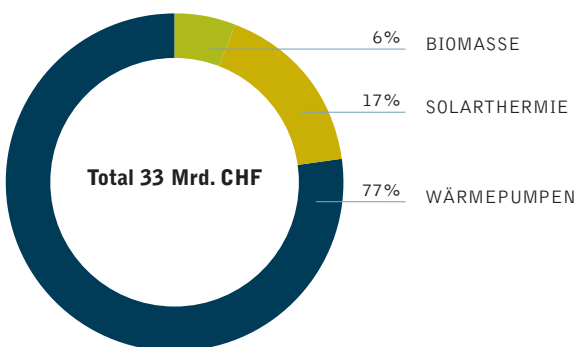
5.3 Arbeitsplätze für die Zukunft

Der Umbau des Energiesystems wird zu neuen Arbeitsplätzen⁶² in der Schweiz führen. Erneuerbare Energien und Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz werden lokal implementiert und verlangen pro Energieeinheit in der Regel mehr Arbeitseinsatz als Grosskraftwerke. Obwohl davon auszugehen ist, dass in der Energieeffizienz mehr Arbeitsplätze geschaffen werden als beim Ausbau erneuerbarer Energien, wurde die Schätzung wegen der vielen Unsicherheiten bei der Energieeffizienz auf die erneuerbaren Energien beschränkt. Die verwendete Methode zur Berechnung der Jobs im Energiesektor wurde von Forschern der Universität Sydney entwickelt und ist im Anhang im Detail erläutert. Für die Berechnungen werden lediglich unmittelbar resultierende Arbeitsplätze berücksichtigt, die beim Bau, in der Fertigung, im Betrieb und in der Wartung sowie in der Rohstoffversorgung für die Stromerzeugung und die direkte Wärmeversorgung anfallen. Indirekte Arbeitsplätze und induzierte Arbeitsplätze werden nicht berücksichtigt, dürften allerdings bis viermal so häufig sein wie die direkten Arbeitsplätze.

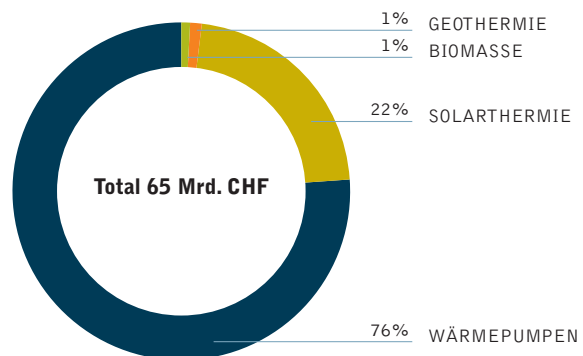
Der Vergleich der Szenarien zeigt, dass bei der Energy [R]evolution deutlich mehr neue Jobs geschaffen werden als im Referenzszenario. Die direkten Arbeitsplätze für den Umbau des Energiesektors steigen von rund 23 900 Arbeitsplätzen im Jahr 2010 auf rund 37 700 im Jahr 2020 und dann auf 34 100 Arbeitsplätze im Jahr 2030. Im Vergleich zum Referenzszenario werden zusätzliche Arbeitsplätze in der Höhe von 11 900 im Jahr 2020 und rund 6600 im Jahr 2030 geschaffen (Siehe Abbildung 5.4).

Abbildung 5.3: Entwicklung der Investitionen in regenerative Heiztechnologien in den beiden Szenarien (ohne Berücksichtigung direkter elektrischer Beheizung)

POM 2011 - 2050



E[ER] 2011 - 2050



referenz

62 MIT ARBEITSPLÄTZEN SIND IMMER VOLLZEITÄQUIVALENTE GEMEINT.



Wir gehen davon aus, dass sowohl die steile Zunahme der direkten Arbeitsplätze als auch der darauf folgende Rückgang innerhalb des Bausektors (mit mehr als 330 000 Arbeitsplätze im Jahr 2011) aufgefangen werden können – dies vor allem aus dem Grund, dass Planung und Installation von Photovoltaikanlagen, die Haupttreiber der starken Zunahme, relativ einfache Arbeiten sind.

Eine Abschätzung der Schweizerischen Energiestiftung hat die mit der Energiewende neu entstehenden direkten und indirekten Jobs in einer Brutto-Betrachtung (ohne wegfallende Jobs) inkl. Quantifizierung von Jobs im Effizienzbereich auf rund 85 000 bis 2035 geschätzt.⁶³ Da 80 bis 90% der 85 000 Jobs auf den Effizienzbereich entfallen, gehen wir davon aus, dass in der Energy [R]evolution direkte, indirekte und induzierte Arbeitsplätze in ähnlichem oder gar grösserem Umfang geschaffen werden.

Abbildung 5.4: Beschäftigungsentwicklung im Energiesektor in den beiden Szenarien

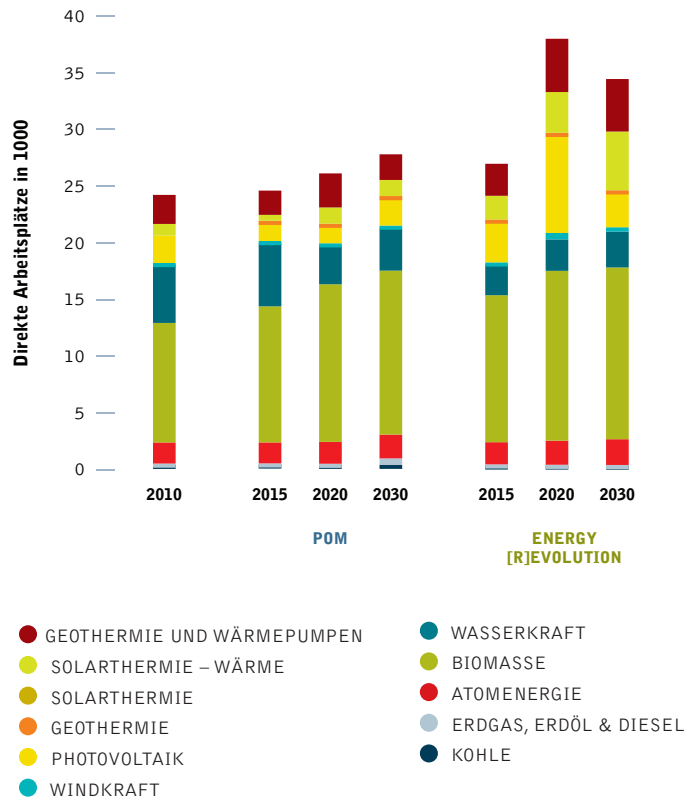


Tabelle 5.2: Beschäftigungsentwicklung im Energiesektor in den beiden Szenarien

	2010	2015	2020	ENERGY [R]EVOLUTION			
				POM 2030	2015	2020	2030
Kohle	100	200	100	100	100	100	100
Erdgas, Erdöl & Diesel	100	100	100	600	100	100	-
Atomenergie	1900	1800	1900	2100	2000	2100	2300
Erneuerbare Energien	21 800	22 200	23700	24 700	24 600	35 400	31 800
Total jobs	23 900	24 300	25 800	27 500	26 700	37 700	34 100
Bau, Planung und Montage	5100	4800	4600	6000	6400	13 500	10 200
Herstellung	4300	3400	3100	2600	3700	5600	4400
Betrieb und Unterhalt	5000	5600	6000	6200	5400	6000	7000
Brennstoffversorgung	9400	10 600	12 100	12 700	11 100	12 600	12 600
Export von Kohle und Gas	-	-	-	-	-	-	-
Total jobs	23 900	24 300	25 800	27 500	26 700	37 700	34 100

referenz

⁶³ VGL. STUDIE «VOLKSWIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG ERNEUERBARER ENERGIEN IN DER SCHWEIZ»: [HTTP://WWW.ENERGIESTIFTUNG.CH/FILES/TEXTDATEIEN/ENERGIETHEMEN/ENERGIEPOLITIK/SES_ ARBEITSPLAETZE_WEB_DEF.PDF](http://www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energiethemen/energiepolitik/ses_arbeitsplaetze_web_def.pdf)

Ausblick: Jetzt die Weichen richtig stellen!

«DIE MEHRKOSTEN FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN VON HEUTE SIND GESICHERTE ENERGIE, VERMIEDENE UMWELTSCHÄDEN UND NIEDRIGE ENERGIEKOSTEN VON MORGEN.» HERMANN SCHEER.



bild MONTAGE DER DAMALS GRÖSSTEN PHOTOVOLTAIK AUF-DACH-ANLAGE IN WOHLER AG MIT FREIWILLIGEN VON GREENPEACE.

Die Energy [R]evolution zeigt einen konsistenten Weg für den Ausstieg aus den Atomrisiken durch Investitionen in Energieeffizienz und erneuerbare Energien auf, und zwar unter Einhaltung des Klimaschutzes. Mit bloss kleinen, zögerlichen Schritten droht das Jahrhundertprojekt «Energiewende» verwässert zu werden, und der Aufbruch braucht viel zu viel Zeit, die wir in Anbetracht des fortschreitenden Klimawandels nicht haben.

Wir können und müssen jetzt die Weichen für ein Energiesystem stellen, das noch vielen Generationen von Nutzen sein wird. Dazu gehören aus unserer Sicht folgende zentralen Elemente:

1. Die Festlegung von **ambitionierten, gerechten und bindenden Klimazielen**: -30% bis -40% bis 2020, -55% bis 2030 und -95% bis 2050 (im Vergleich zu 1990) gemäss den neusten Erkenntnissen des Weltklimarats IPCC.
2. Die sicherheitstechnisch begründete **Festlegung von maximalen Laufzeiten für die Atomkraftwerke auf 40 Jahre**. Damit wird auch Planungs- und Investitionssicherheit für den Umbau der Stromversorgung geschaffen.
3. Die **Abschaffung aller direkten und indirekten staatlichen Unterstützungen für konventionelle Energien**. Aus einer erweiterten Perspektive gehören dazu auch die Streichung der Standortvergünstigungen sowie die Einführung von Unternehmensrichtlinien für Schweizer Firmen, die irgendwo auf der Welt am Abbau von Rohstoffen beteiligt sind.
4. Ein **Verbot von Exploration und Förderung fossiler Energien** in der Schweiz.
5. Die Festlegung von ambitionierten **Mindesteffizienz- und Mindest-CO₂-Standards** für Bauten, Fahrzeuge und Geräte.
6. Die Einführung eines umfassenden, den Zielsetzungen angepassten Abgabensystems: **CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe, Strom- oder Energielenkungsabgabe** für die Erschliessung der brachliegenden Effizienzpotenziale. Solche Abgaben sollen in eine ökologische Steuerreform überführt werden.
7. Die Schaffung eines gesetzlichen Rahmens mit **verpflichtenden Effizienzzielen für Energieversorger**, die aktiv zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen müssen.

8. Die Optimierung der kostendeckenden Einspeisevergütung: Förderung von Projekten mit hoher Qualität und Aufhebung der Deckelung für Photovoltaikanlagen auf bestehenden Infrastrukturen. Die Schweizer Energiewende soll verwirklicht werden, ohne die bestehende Gewässer-, Natur- und Heimatschutzgesetzgebung aufzuweichen.
9. Die verstärkte Forschung für die Sicherstellung einer 100% erneuerbaren und klimaschonenden Energieversorgung. Dabei sollen wichtigen Aspekte des gesellschaftlichen Wandels, der mit dem Umbau der Energieversorgung verbunden ist, einbezogen werden.

6
Ausblick: Jetzt die Weichen richtig stellen!

Damit wir als Gesellschaft auch im Bereich der Suffizienz Schritte unternehmen können, sind mittelfristig sämtliche Anreize für nicht suffizientes Verhalten zu beseitigen. Als Beispiele seien der kontinuierliche Ausbau von Strassen, grosszügige Neueinzonungen von Bauland auf der grünen Wiese, der deutlich zu billige Flugverkehr und die Überschreitung von Luftschutzgrenzwerten ohne Folgen für die Verursacher genannt.

Mit dem **Paket des Bundesrats zur Energiestrategie 2050** liegen viele Massnahmen auf dem Tisch. Viele zeigen in die richtige Richtung, sie genügen aber noch nicht, um die Ziele zu erreichen, und verlangsamen die Energiewende, vorab im Bereich Energieeffizienz und beim Zubau von Solarstromanlagen. Andere Massnahmen schlagen unnötige Konzessionen im Bereich der Wasserkraft und der fossilen Stromerzeugung vor. Beides ist nicht nötig. Eine CO₂-Abgabenbefreiung für die fossile Stromproduktion würde eine Klimapolitik torpedieren, die das 2-Grad-Erwärmungsziel einhalten will.

Die Verschiebung wichtiger Massnahmen in eine zweite Phase, wie dies der Bundesrat vorschlägt, ist nicht zielführend. Massnahmen, die sofort umgesetzt werden können, sind auch sofort anzugehen, allein wegen der Dringlichkeit des Klimaschutzes und der je länger je höheren Anpassungskosten an den Klimawandel. Die zügige Umsetzung ist volkswirtschaftlich sinnvoll und eine Investition in eine lebenswerte Zukunft.

Glossar und Anhang

GLOSSAR

SEKTOR-DEFINITION

BERECHNUNGSANNAHMEN



7

« Der härteste und wichtigste Kampf des 21. Jahrhunderts wird ohne Waffen geführt. Die Werkzeuge dieses Kampfes heissen: Energieeffizienz, Energie sparen und erneuerbare Energien» Franz Alt

© JEFF SCHWALTZ, MODIS RAPID RESPONSE TEAM, NASA/GSFC

bild SATELLITEN-ANSICHT DES ALPENBOGENS.

7.1 Glossar

AKW	Atomkraftwerk
BIP	Brutto-Inlandprodukt
B&W	Betrieb und Wartung
CO₂	Kohlenstoffdioxid
EE	Erneuerbare Energien
E[R]	Energy [R]evolution
IEA	Internationale Energie Agentur
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, Weltklimarat
IT	Informations-Technologie
NEP	Szenario «Neue Energiepolitik» des Bundesrates, das ambitionierteste Szenario des Bundesrates
POM	Szenario «Politische Massnahmen» des Bundesrats, welches als Referenz zur Energy [R]evolution verwendet wurde
PV	Photovoltaik
WEO	World Energy Outlook
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung
WP	Wärmepumpen

J	Joule, ein Mass für Energie:
kJ (Kilojoule)	= 1000 Joules
MJ (Megajoule)	= 1 Million Joules
GJ (Gigajoule)	= 1 Milliarde Joules
PJ (Petajoule)	= 10 ¹⁵ Joules
EJ (Exajoule)	= 10 ¹⁸ Joules

W	Watt, ein Mass für Leistung:
kW (Kilowatt)	= 1000 Watt
MW (Megawatt)	= 1 Million Watt
GW (Gigawatt)	= 1 Milliarde Watt
TW (Terawatt)	= 1 ¹² watts

kWh	Kilowattstunde, ein Mass für Energie:
kWh (Kilowatt-studen)	= 1000 Wattstunden
TWh (Terawatt-studen)	= 10 ¹² Wattstunden

t	Tonne, ein Mass für Gewicht:
t	= 1000 Kilogramm
Gt	= 10 ⁹ Tonnen

Tabelle 7.1: Konversionsfaktoren für fossile Energieträger

ENERGIETRÄGER

Steinkohle	23.03	MJ/kg	1 cubic	0.0283 m ³
Braunkohle	8.45	MJ/kg	1 barrel	159 liter
Öl	6.12	GJ/barrel	1 US gallon	3.785 liter
Erdgas	38000.00	kJ/m ³	1 UK gallon	4.546 liter

7.2 Sektor-Definition

Die in der E[R] verwendete Definition der Sektoren folgt der Methodik der IEA-Berichte «World Energy Outlook».

Die folgenden Definitionen stammen von der IEA:

Industriesektor: (ohne Energie für Transporte im Industriesektor)

- Eisen und Stahlindustrie
- Chemische Industrie
- Herstellung nicht-metallischer Mineral-Produkte, z.B. Glas, Keramik, Zement etc.
- Herstellung von Fahrzeugen und Fahrzeug-Ausstattungen
- Maschinenbau
- Ressourcen-Abbau
- Lebensmittel und Tabak
- Papier, Zellstoff und Druck
- Holz und Holzprodukte
- Bau- und Konstruktion
- Textilien und Leder

Verkehrs-Sektor: Der Verkehrs-Sektor (oder Transport-Sektor) beinhaltet alle Energieträgernutzungen auf Strassen, Schienen, Inlandflug und Inlandschifffahrt.

Andere Sektoren: Haushalte und Dienstleistungen, Landwirtschaft, Fischerei. In der E[R] wird dieser Sektor wegen dem überwiegenden Anteil von Haushalten und Dienstleistungen mit «Haushalte und Dienstleistungen» beschriftet.

Nicht-energetische Nutzung: Steht für Ölprodukte, welche für die Herstellung von Kunststoffen, Schmiermitteln, Bitumen, etc. verwendet werden.

7.3 Berechnungsannahmen

7.3.1 Bevölkerungsentwicklung

Das Szenario der Energy [R]evolution verwendet die Schweizer Prognose der Bevölkerungsentwicklung der Energieszenarien des Bundesrates (Prognos 2012).

Tabelle 7.2: Prognose der Bevölkerungsentwicklung für die Schweiz (MIO. EINWOHNERINNEN)

	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Schweiz	7,8	8,1	8,4	8,6	8,7	8,9	9,0

Quelle: ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050 (PROGNOS 2012).

7.1.2 Wirtschaftswachstum

Das Wirtschaftswachstum hat einen entscheidenden Einfluss auf die Energienachfrage. Seit 1971 verzeichnet man bei einer Zunahme des Bruttoinlandsprodukts (BIP) um 1% eine 0,6%ige Zunahme des primären Energieverbrauchs. Voraussetzung für eine Energy [R]evolution ist daher, dass Energienachfrage und BIP-Wachstum entkoppelt werden. Erste Anzeichen einer solchen Entwicklung waren im letzten Jahrzehnt in der Schweiz zu beobachten. Analog zu den Bundesratsszenarien wird davon ausgegangen, dass das BIP der Schweiz bis 2020 jährlich um rund 1,3% steigt, danach bis 2050 jährlich um etwa 0,9% (Prognos 2012).

Tabelle 7.3: Prognosen der BIP-Entwicklung für die Schweiz im Vergleich zu den Annahmen im Vergleich mit dem globalen und dem europäischen Energy [R]evolution-Szenario aus dem Jahr 2012

(DURCHSCHNITTLICHE JÄHRLICHE WACHSTUMSRATEN)

REGION	2010-2020	2020-2035	2035-2050	2009-2050
Welt	4,2%	3,2%	2,2%	3,1%
Europa (EU 27)	2,1%	1,8%	1,0%	1,6%
Schweiz	1,3%	0,8%	0,8%	0,9%

Quelle: 2010-1035 IEA WEO 2011 UND 2035-2050 DLR, ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050 PROGNOS 2012.

7.3.3 Öl- und Gaspreisprognosen

Über 80% der aktuellen Energieversorgung beruht auf fossilen Energieträgern. Der gesamte Verkehrssektor wird von Erdöl bestimmt, im Heizungsbereich überwiegen Öl und Erdgas und in der Stromerzeugung ist Steinkohle die am häufigsten verwendete Energiequelle. Entsprechend wichtig sind die Annahmen zur Kostenentwicklung der fossilen Energieträger.

Unter Berücksichtigung der noch zunehmenden globalen Nachfrage nach Öl sind wir bei fossilen Brennstoffen von einer etwas steileren Preisentwicklung ausgegangen als im Modell der «Aktuellen Politik» des World Energy Outlook (WEO) der Internationalen Energieagentur (IEA) von 2011. Da die Erdgasversorgung durch die Pipeline-Infrastruktur begrenzt ist, gibt es keinen Weltmarktpreis für Erdgas. In den meisten Regionen der Welt ist der Erdgaspreis unmittelbar an den Ölpreis gekoppelt. Daher wird von einer Zunahme des Gaspreises um EUR 20–25 pro GJ bis 2050 ausgegangen. Tabelle 7.4 zeigt die Preisentwicklung für Rohöl, Erdgas, Kohle und Biomasse in EUR im globalen Energy-[R]evolution-Szenario von 2012. Für die Kostenberechnungen in der Schweiz wurde ein Wechselkurs von CHF 1.25 gegenüber dem EUR angenommen.

7.3.4 Zukünftige Kosten von CO₂-Emissionen

Prognosen zu den Kosten von CO₂-Emissionen sind noch unsicherer als bei den Energiepreisen. Es gibt Studien mit einem breiten Spektrum an Schätzungen. Die in der Tabelle gezeigten Kostenentwicklungen sind Schätzungen für einen weltweiten Durchschnitt. Der europäische CO₂-Markt wird höhere CO₂-Kosten einpreisen müssen, um das gewünschte Knappheitssignal bzw. eine Verlagerung weg von Kohlekraftwerken zu erreichen. Schätzungen gehen von mindestens 60 bis 80 EUR pro Tonne CO₂ aus. Für die Kostenberechnungen der Schweizer Energy [R]evolution wurden dennoch die globalen und damit viel moderateren Schätzungen verwendet.

Tabelle 7.4: Annahmen über die Entwicklung der CO₂-Emissionskosten im europäischen Markt für im Anhang B des UNFCCC aufgeführte und nicht aufgeführte Länder.

(€2010/tCO₂)

LÄNDER	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Annex-B Länder	0	11	19	30	42	57
Nicht-Annex-B Länder	0	0	0	30	42	57

Tabelle 7.5: Prognosen für die Preisentwicklung von fossilen Brennstoffen und Biomasse in € 2010

FOSSILE ENERGIETRÄGER	EINHEIT	2000	2005	2007	2008	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2050
Rohöl Importe													
Historische Preise (gemäss WEO)	barrel	29	42	63	98	65							
WEO «450 ppm Szenario»	barrel					65	80	80	80	80	80		
WEO Aktuelle Politik	barrel					65	88	88	88	112	116		
Energy [R]evolution 2012	barrel					65	93	93	93	126	126	126	126
Erdgas Importe													
Historische Preise (gemäss WEO)													
USA	GJ	4,20	1,94	2,71		3,84							
Europa	GJ	3,10	3,77	5,27		6,55							
Japan	GJ	5,11	3,79	5,30		9,61							
WEO 2011 «450 ppm Szenario»													
USA	GJ					3,84	5,15	5,68	6,98	7,32	6,81		
Europa	GJ					6,55	8,21	8,56	8,56	8,47	8,21		
Japan	GJ					9,61	10,39	10,48	10,48	10,57	10,57		
WEO Aktuelle Politik													
USA	GJ					3,84	5,33	6,12	6,72	7,32	7,86		
Europa	GJ					6,55	8,56	9,61	10,39	11,00	11,35		
Japan	GJ					9,61	11,09	11,78	12,40	12,92	13,27		
Energy [R]evolution 2012													
USA	GJ					3,84	7,03	8,97	10,39	12,06	13,61	15,18	19,89
Europa	GJ					6,55	11,77	13,89	15,08	16,17	17,30	18,45	21,82
Japan	GJ					9,61	13,42	15,79	17,07	18,31	19,55	20,79	24,64
OECD Kohle Importe													
Historische Preise (gemäss WEO)													
WEO «450 ppm Szenario»	Tonnen	34,76	41,38	57,93	100,96	81,93							
WEO Aktuelle Politik	Tonnen					81,93	82,76	76,96	68,69	61,24	56,27		
Energy [R]evolution 2012	Tonnen					81,93	86,89	90,20	93,51	96,00	97,65		
							104,85	115,03	134,31	141,51	150,04	164,69	170,73
Feste Biomasse													
Energy [R]evolution 2012													
OECD Europa	GJ			6,21		6,46	6,88	7,71	8,04	8,38	8,51	8,63	8,81
OECD Asien Ozeanien und Nord-Amerika	GJ			2,76		2,85	2,94	3,19	3,39	3,61	3,77	3,94	4,36
Andere Regionen	GJ			2,27		2,35	2,68	2,94	3,14	3,35	3,61	3,86	4,10

Quelle: IEA WEO 2009 & 2011 eigene Annahmen.

7.3.5 Kostenprognosen für regenerative Energietechnologien

Viele der heute eingesetzten erneuerbaren Technologien befinden sich noch in einem relativ frühen Stadium der Marktentwicklung. Daher sind die Kosten der Strom-, der Wärme- und der Brennstoffherstellung teilweise noch höher als bei den konkurrierenden konventionellen Verfahren – was daran erinnert, dass sich die Umwelt- und die sozialen Kosten der konventionellen Stromerzeugung nicht in den Marktpreisen spiegeln. Technische Fortschritte, verbesserte Herstellungsverfahren und die Massenfertigung werden zu weiteren Kostensenkungen führen, während bei konventionellen Technologien erhöhte Sicherheitsstandards und tendenziell teurer werdende Brennstoffe zu Kostensteigerungen führen. Der dynamische Trend der Kostenentwicklung spielt eine entscheidende Rolle bei der Bestimmung wirtschaftlich vernünftiger Expansionsstrategien für Szenarien, die sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken.

Um die langfristigen Kostenentwicklungen zu bestimmen, wurden bei den Modellberechnungen Lernkurven angewandt, die widerspiegeln sollen, wie sich die Kosten einer bestimmten Technologie in Abhängigkeit von der kumulierten Leistung

verändern. Ein Lernfaktor von 0,9 heisst, dass die Kosten voraussichtlich jeweils um 10% sinken, sobald sich die kumulierte erzeugte Leistung der betreffenden Technologie verdoppelt. Empirische Daten haben zum Beispiel gezeigt, dass der Lernfaktor bei PV-Solarmodulen über einen Zeitraum von 30 Jahren relativ konstant 0,8 betrug, während er bei der Windkraft zwischen 0,75 in Grossbritannien und 0,94 im weiter fortgeschrittenen deutschen Markt liegt.

Die Annahmen hinsichtlich der künftigen Kosten erneuerbarer Stromtechnologien im Szenario der Energy [R]evolution beruhen auf einer Auswertung von Lernkurvenstudien beispielsweise von Lena Neij et al⁶⁴, einer Analyse jüngerer Studien über die technischen Aussichten und die langfristige Planung, wie z.B. des von der EU-Kommission geförderten NEEDS-Projekts (New Energy Externalities Developments for Sustainability)⁶⁵ oder der IEA Energy Technology Perspectives 2008, auf den im April 2010 veröffentlichten Prognosen des European Renewable Energy Council (RE-Thinking 2050) sowie auf Gesprächen mit Experten aus unterschiedlichen Bereichen der Industrie für erneuerbare Energien.

referenz

⁶⁴ NEIJ, L., 'COST DEVELOPMENT OF FUTURE TECHNOLOGIES FOR POWER GENERATION - A STUDY BASED ON EXPERIENCE CURVES AND COMPLEMENTARY BOTTOM-UP ASSESSMENTS', ENERGY POLICY 36 (2008), 2200-2211.

⁶⁵ WWW.NEEDS-PROJECT.ORG.

7.3.6 Photovoltaik

Der Weltmarkt für Photovoltaik (PV) ist in den letzten Jahren jährlich um mehr als 40% gewachsen und beginnt einen signifikanten Beitrag zur Stromversorgung zu leisten. Die Bedeutung der Photovoltaik ist in ihren dezentralen/zentralen Eigenschaften, ihrer flexiblen Nutzung im städtischen Umfeld und im enormen Potenzial zur Kostensenkung begründet. Die PV-Industrie nutzt dieses Potenzial in den letzten Jahren zunehmend, wobei sich die Installationskosten in den letzten Jahren mehr als halbiert haben. Die aktuelle Entwicklung konzentriert sich auf die Verbesserung bestehender Module und Systemkomponenten durch eine Steigerung ihres Wirkungsgrades und eine Senkung des Materialverbrauchs. Technologien wie die Dünnschicht-PV (unter Verwendung von alternativen Halbleitern) oder Farbstoffsolarzellen werden weiterentwickelt und bieten ein grosses Potenzial zur Kostensenkung. Die bereits marktreife Technologie des kristallinen Siliziums mit einer nachgewiesenen Lebensdauer von 30 Jahren verbessert den Wirkungsgrad ihrer Zellen und Module jährlich um 0,5%, während die Stärke der Zellen rasch sinkt (in den letzten fünf Jahren von 230 auf 180 Mikrometer). Der Wirkungsgrad von kommerziellen Modulen variiert zwischen 14% und 21%, je nach Güte des Siliziums und je nach Fertigungsverfahren.

Der Lernfaktor ist bei PV-Modulen in den letzten 30 Jahren relativ konstant bei 0,8 geblieben. Geht man im globalen Szenario der Energy [R]evolution zwischen 2030 und 2040 von einer weltweit eingesetzten Kapazität von 1 500 GW und von einer Stromproduktion von 2 600 TWh/a aus, ist zu erwarten, dass je nach Region Produktionskosten von 4 bis 8 Cent pro kWh erreichbar sind. In den nächsten fünf bis zehn Jahren ist davon auszugehen, dass die PV in vielen Gegenden der Welt mit den Endabnehmerstrompreisen konkurrieren kann – und bis zum Jahr 2030 auch mit den Kosten von fossilen Brennstoffen. Die folgende Tabelle zeigt die angenommene Kostenentwicklung in EUR.

Tabelle 7.6: Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Photovoltaikanlagen

INKLUSIVE ZUSÄTZLICHE KOSTEN FÜR NETZINTEGRATION VON BIS ZU 25% DER INVESTITIONEN.

SZENARIO	2009	2015	2020	2030	2040	2050
EUR]						
Investitionskosten (€/kWp)	2817	1733	1246	967	785	799
B & U (€/kW und Jahr)	40	29	16	11	11	11

B & U = Betriebs- und Unterhaltskosten

7.3.7 Windenergie

Berücksichtigt man die Prognosen für die Marktentwicklung, die Lernkurvenanalyse und die Erwartungen innerhalb der Branche, kann davon ausgegangen werden, dass die Investitionskosten für Windkraftanlagen bei Onshore-Anlagen bis 2050 um 25% und bei Offshore-Anlagen um 50% sinken werden.

7.3.8 Biomasse

Der entscheidende Faktor bei der Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Biomasse zur Energiegewinnung sind die Rohstoffkosten. Diese reichen heute von unter null bei Holzabfällen (entstehen durch die Vermeidung von Abfallentsorgungskosten) über neutrale Kosten bei Hofdünger bis hin zu kostenpflichtigen Reststoffen (der Anbau von Energiepflanzen wurde im Schweizer ER-Szenario ausgeschlossen). Das resultierende Spektrum an Kosten der Energieproduktion ist entsprechend breit. Eine der wirtschaftlichsten Möglichkeiten ist die Nutzung von Holzabfällen, um Dampfturbinen in Kombikraftwerken zu betreiben. Die Vergasung von fester Biomasse, für die es vielfältige Einsatzbereiche gibt, ist dagegen noch verhältnismässig teuer. Langfristig geht man davon aus, dass der Einsatz von Holzgas in Kombikraftwerken (Motoren und Brennstoffzellen) die tiefsten Stromerzeugungskosten bieten wird.

Tabelle 7.7: Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Windkraftwerken

INKLUSIVE ZUSÄTZLICHE KOSTEN FÜR NETZINTEGRATION VON BIS ZU 25% DER INVESTITIONEN

SZENARIO	2009	2015	2020	2030	2040	2050
EUR]						
Wind turbine offshore						
Investitionskosten (€/kWp)	4875	4171	2871	2275	2056	1767
B & U (€/kW und Jahr)	173	155	122	99	94	81
Wind turbine onshore						
Investitionskosten (€/kWp)	1422	1125	975	967	972	1,016
B & U (€/kW und Jahr)	51	42	41	42	44	46

B & U = Betriebs- und Unterhaltskosten

Tabelle 7.8: Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Biomasse-Kraftwerken

SZENARIO	2009	2015	2020	2030	2040	2050
EUR]						
Biomasse Kraftwerk						
Investitionskosten (€/kWp)	2653	2329	2199	2124	2037	1994
B & U (€/kW und Jahr)	160	140	132	127	123	120
Biomasse WKK						
Investitionskosten (€/kWp)	4500	3815	3337	2914	2686	2551
B & U (€/kW und Jahr)	315	268	234	204	189	179

B & U = Betriebs- und Unterhaltskosten

7.3.9 Geothermie

Erdwärme wird schon lange weltweit zur Wärmegewinnung genutzt und seit etwa 1900 auch zur Stromerzeugung. Geothermisch erzeugter Strom beschränkte sich bislang auf Standorte, an denen bestimmte geologische Bedingungen herrschen. Intensive Forschung und Entwicklung haben jedoch zu einer grösseren Vielfalt möglicher Standorte geführt. Besonders dank der Herstellung grosser unterirdischer Wärmeüberträger – sogenannter erweiterter geothermischer Systeme (EGS) – und der Verbesserung der Niedertemperatur-Stromumwandlung, z.B. durch das Organic-Rankine-Cycle-Verfahren könnte es möglich werden, geothermischen Strom nahezu überall zu erzeugen. Fortschrittliche Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen werden die Wirtschaftlichkeit des Stroms aus Erdwärme ebenfalls verbessern.

7.3.10 Wasserkraft

Wasserkraft ist eine ausgereifte Technologie, von der ein wesentlicher Anteil der Ressourcen bereits genutzt wird. Es besteht allerdings weiterhin Potenzial bei der Erneuerung und Optimierung bestehenden Anlagen. Wegen gleichzeitig erhöhter Anforderungen an den Schutz vor Naturgefahren nehmen wir an, dass die Kosten etwa stabil bleiben.

7.3.11 Kostenprognosen für regenerative Heiz- und Kühltechnologien

Die Wärmegewinnung aus erneuerbaren Quellen ist die regenerative Technologie mit der längsten Tradition. In einer gemeinsamen Studie des EREC und des DLR zu den Kosten erneuerbarer Wärmegewinnungstechnologien in Europa wurden die Installationskosten für regenerative Heiztechnologien analysiert – von direkten Sonnenkollektoren bis zu Erdwärme oder Heizsystemen aus Umgebungswärme und Biomasse. Einige Technologien sind bereits ausgereift und konkurrieren auf dem Markt miteinander – insbesondere einfache Heizsysteme für den häuslichen Einsatz. Aufwändigere Systeme, die einen höheren Anteil des Wärmebedarfs aus erneuerbaren Quellen decken könnten, sind jedoch noch in Entwicklung und bislang relativ teuer. Die weitere Durchsetzung von erneuerbaren Heizsystemen und die entsprechende Kostensenkung werden besonders bei Heiznetzwerken durch Marktzugangsbeschränkungen behindert. Dennoch sind signifikanten Lernraten zu erwarten, wenn regenerative Heizanlagen zunehmend zum Einsatz kommen, wie es das ECRJ-Szenario vorsieht. Die folgende Tabelle fasst die Annahmen im Wärmebereich zusammen.

Tabelle 7.9: Annahmen zur Entwicklung der Kosten von Geothermiekraftwerken

SZENARIO	2009	2015	2020	2030	2040	2050
E[CRJ]						
Geothermie Kraftwerk						
Investitionskosten (€/kWp)	11 159	9318	7042	4821	4007	3446
B & U (€/kW und Jahr)	504	406	316	240	224	212

B & U = Betriebs- und Unterhaltskosten

Tabelle 7.10: Überblick über die zu erwartenden Entwicklung der Investitions-, der Betriebs- und der Wartungskosten bei Heiztechnologien in Europa

(IN €2010/KW_{TH})

	2015	2020	2030	2040	2050
Fernwärme aus Geothermie*	2000	1900	1700	1508	1328
Wärmepumpen	1500	1455	1369	1288	1212
Kleine Kollektor-Systeme	886	849	759	670	570
Grosse Kollektor-Systeme	714	684	612	540	460
Fernwärme aus Solarthermie*	814	814	814	814	814
Kleine Biomasse-Heizsysteme	700	679	639	601	566
Grosse Biomasse Heizsysteme,	500	485	456	429	404
Fernwärme aus Biomasse*	500	485	456	429	404

* OHNE WÄRMENETZ

7.4 Methodik zur Berechnung der Beschäftigungswirkung

Jay Rutovitz und Nicholas Mikhailovich, Institute for Sustainable Futures, UTS, September 2013

Das Institute for Sustainable Futures (ISF) hat die Auswirkungen der globalen Szenarien der Energy [R]evolution 2008 und 2012 auf den Arbeitsmarkt berechnet. Mit Hilfe der 2012 bereits in der globalen Analyse eingesetzten Methode werden die Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt in der Schweizer Energiebranche im Szenario der Energy [R]evolution und im Referenzszenario berechnet.

Für die Ausgangsdaten wurde die im Januar 2013 vom Bundesamt für Energie publizierte Studie «Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz»⁶⁶ verwendet. Für den Zeitraum bis 2030 wurde für beide Szenarien die Beschäftigung im Energiesektor geschätzt, indem eine Reihe von Beschäftigungsmultiplikatoren für die verschiedenen Technologien herangezogen wurden. Die Ergebnisse der Energieszenarien dienen als Eingabegrößen für die Modellierung des Arbeitsmarktes.

Es werden lediglich unmittelbar resultierende Arbeitsplätze berücksichtigt, die beim Bau, in der Fertigung, im Betrieb und in der Wartung sowie in der Rohstoffversorgung für die Stromerzeugung und die direkte Wärmeversorgung anfallen. Indirekte Arbeitsplätze und induzierte Arbeitsplätze (2 bis 4 Mal so viele wie direkte Arbeitsplätze) werden nicht berücksichtigt. Indirekte Arbeitsplätze sind solche, die in Zulieferungsindustrien entstehen, welche die Primärindustrie beliefern, wie zum Beispiel Gastronomie oder Behausung. Induzierte Arbeitsplätze entstehen dadurch, dass die in der Primärindustrie verdienten Löhne und Gehälter für andere Güter und Dienstleistungen ausgegeben werden. Obwohl die E[R] erhebliche Entwicklungen im Bereich der Energieeffizienz erwartet, wurden Arbeitsplätze im Bereich der Energieeffizienz ebenfalls von den aktuellen Berechnungen ausgeschlossen, da die Unwägbarkeiten bei ihrer Abschätzung zu gross sind. Die eingesetzte Methodik wird in Rutovitz & Harris 2012a ausführlich beschrieben.

7.4.1 Übersicht

Zu den Eingangsgrößen für die Energieerzeugung und -nachfrage in den jeweiligen Szenarien zählen unter anderem:

- die pro Jahr mit der jeweiligen Technologie installierte Strom- und Wärmeleistung
- der Primärenergiebedarf an Steinkohle, Erdgas und Biomasse im Strom- und Heizungsbereich
- die Strommenge, die jedes Jahr durch Atomkraft, Erdöl und Diesel erzeugt wird

Zu den Eingangsgrößen für die einzelnen Technologien in den jeweiligen Szenarien zählen unter anderem:

- «Arbeitsplatzfaktoren»: die Anzahl Arbeitsplätze pro Leistungseinheit, unterteilt in Fertigung, Bau, Betrieb und Wartung, pro Primärenergieeinheit des gelieferten Rohstoffs
- Ein «Rückgangsfaktor» zu den Berechnungen für 2020 und 2030 für die jeweilige Technologie, die den Arbeitsplatzfaktor pro Jahr um einen bestimmten Prozentsatz senkt, da die Anzahl Arbeitsplätze pro Leistungseinheit mit steigendem Wirkungsgrad der Technologie zurückgeht
- Der Prozentsatz der lokalen Fertigung und der inländischen Rohstoffgewinnung in der jeweiligen Region, um die Anzahl der Arbeitsplätze in der Region zu berechnen, die von der Fertigung oder der Rohstoffgewinnung abhängen
- Der Prozentsatz des von der jeweiligen Region ausgehenden Welthandels mit Steinkohle und Erdgas sowie mit erneuerbaren Komponenten

Die Werte für die Stromleistungszunahme und die Energienutzung der jeweiligen Szenarien werden mit den Arbeitsplatzfaktoren für die jeweilige Technologie multipliziert sowie mit dem Prozentsatz des lokal stattfindenden Rohstoffabbaus bzw. der lokalen Fertigung. Die Berechnung ist in Tabelle 7.11 zusammengefasst.

Tabelle 7.11: Berechnung von Arbeitsplätzen in der Energieversorgung: Überblick

FERTIGUNG (NUTZUNG VOR ORT)	=	PRO JAHR IN DER REGION INSTALLIERTE MW	×	ARBEITSPLATZFAKTOR FERTIGUNG	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR	×	%-SATZ LOKALER FERTIGUNG		
FERTIGUNG (FÜR DEN EXPORT)	=	PRO JAHR EXPORTIERTE MW	×	ARBEITSPLATZFAKTOR FERTIGUNG	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR				
BAU	=	PRO JAHR INSTALLIERTE MW	×	ARBEITSPLATZFAKTOR KONSTRUKTION	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR				
BETRIEB UND WARTUNG	=	KUMULIERTE LEISTUNG	×	ARBEITSPLATZFAKTOR B&W	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR				
ROHSTOFFVERSORGUNG (ATOMKRAFT)	=	STROMERZEUGUNG	×	ARBEITSPLATZFAKTOR ROHSTOFFE	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR				
ROHSTOFFVERSORGUNG (STEINKOHLE, ERDGAS UND BIOMASSE)	=	PRIMÄRENERGIE- NACHFRAGE PLUS EXPORTE	×	ARBEITSPLATZFAKTOR ROHSTOFFE (BEI STEINKOHLE STETS REGIONAL)	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR	×	%-SATZ LOKALER FÖRDERUNG		
WÄRMEVERSORGUNG	=	PRO JAHR INSTALLIERTE MW	×	ARBEITSPLATZFAKTOR WÄRME	×	REGIONALER ARBEITSPLATZ- MULTIPLIKATOR PRO JAHR				
ARBEITSPLÄTZE IN DER REGION	=	FERTIGUNG	+	BAU	+	BETRIEB UND WARTUNG (B&W)	+	ROHSTOFFE	+	WÄRME
ARBEITSPLATZFAKTOR JAHR 2020 BZW. 2030	=	ARBEITSPLATZFAKTOR 2010 × TECHNOLOGISCHER RÜCKGANGSAKTOR <small>(ANZAHL DER JAHRE SEIT 2010)</small>								

7.4.2 Einschränkungen

Die Beschäftigungszahlen sind nur Richtwerte, da zu ihrer Berechnung eine Vielzahl von Annahmen erforderlich sind. Quantitative Daten zur aktuellen Beschäftigungslage, die auf tatsächlichen Untersuchungen beruhen, sind schwer zu beschaffen, weshalb es nicht möglich ist, die eingesetzte Methode anhand von Zeitreihendaten oder in vielen Regionen auch nur schon anhand aktueller Daten zu kalibrieren. Einige wichtige Beschäftigungsbereiche werden nicht berücksichtigt, zum Beispiel der Austausch von Versorgungsanlagen oder Arbeitsplätze im Bereich der Energieeffizienz. Innerhalb der Grenzen der verfügbaren Daten bieten die Zahlen jedoch einen Richtwert für die Beschäftigung im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung in den beiden Szenarien.

Aufgrund unzureichender Daten war es nicht möglich, eine umfassende Beurteilung im Bereich der Wärmeversorgung vorzunehmen. Es wird nur eine Teilschätzung der Arbeitsplätze in der Wärmeversorgung einbezogen, da die Arbeitsplätze bei der Biomasse, beim Erdgas und bei der Steinkohle in diesem Bereich nur Arbeitsplätze in der Rohstoffversorgung umfassen, wenn die Wärme unmittelbar geliefert wird (nicht über Kraft-Wärme-Kopplung-Kraftwerke), wogegen Arbeitsplätze im Bereich der Wärme aus Erdwärme und Solarkollektoren Fertigung und Installation vorwiegend einschliessen.

7.4.3 Arbeitsplatzfaktoren

Die in der Schweizer Analyse 2013 eingesetzten Arbeitsplatzfaktoren sind in Tabelle 7.12 aufgeführt, wobei die Hauptquellen in den zusätzlichen Hinweisen stehen. Diese sind die Studie «Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz» (Nathani et al. 2013)⁶⁷ und auch die Beschäftigungszahlen der Wasserkraftbranche. Für die Biomasseversorgung, die solarthermische Wärmeversorgung sowie für Betrieb und Unterhalt von Atomkraft und Wasserkraft werden lokale Faktoren verwendet. Bei allen anderen Faktoren handelt es sich um die OECD-Faktoren aus der globalen Analyse des Jahres 2012 (Rutovitz & Harris 2012a).

referenz

67 [HTTP://WWW.NEWS.ADMIN.CH/NSBSUBSCRIBER/MESSAGE/ATTACHMENTS/29634.PDF](http://www.news.admin.ch/nsbsubscriber/message/attachments/29634.pdf)

Tabelle 7.12: Arbeitsplatzfaktoren in der Analyse der Schweiz 2012

FUEL	BAUZEIT <i>Jahre</i>	BAU/ INSTALLATION <i>Arbeitspl.- Jahre/MW</i>	FERTIGUNG <i>Arbeitspl.- Jahre/MW</i>	BETRIEB & UNTERHALT <i>Arbeitspl./MW</i>	ROHSTOFFE - PRIMÄRE ENERGIENACHFRAGE <i>Arbeitspl./PJ</i>	
Steinkohle	5	7,7	3,5	0,1	22,8	Hinweis 1
Erdgas	2	1,7	1,0	0,1	21,9	Hinweis 2
Atomenergie	10	13,7	1,3	0,5	0,0009*	Hinweis 3
Biomasse	2	14,0	2,9	1,5	141	Hinweis 4
Wasserkraft	2	10,5	3,5	0,2		Hinweis 5
Windkraft - Onshore	2	2,5	6,1	0,2		Hinweis 6
Photovoltaik	1	10,9	6,9	0,3		Hinweis 7
Geothermie	2	6,8	3,9	0,4		Hinweis 8
Geothermie – Wärme	10,3 Arbeitspl./ MW (Bau and Fertigung)					Hinweis 9
Solar – Wärme	15,8 Arbeitspl./ MW (Bau and Fertigung)					Hinweis 10
Wärme-Kraft-Kopplung (WKK)	KWK-Technologien verwenden den Faktor für die jeweilige Technik, d. h. Kohle, Gas, Biomasse, Erdwärme usw., für Betrieb und Unterhalt wird ein Faktor 1,5 dazu gerechnet.					
Erdöl und Diesel	Verwendung der Arbeitsplatzfaktoren für Erdgas					

* ARBEITSPLÄTZE PRO GWH, NICHT PRO PJ.

Hinweise zu den Arbeitsplatzfaktoren

- Steinkohle:** Bau-, Fertigungs- sowie B&W-Faktoren stammen vom JEDI-Modell (National Renewable Energy Laboratory 2011a).
- Erdgas, Erdöl und Diesel:** Die Installations- und Fertigungsfaktoren stammen vom JEDI-Modell (National Renewable Energy Laboratory, 2011b). Der Faktor für Betrieb und Wartung (B&W) ist der Durchschnitt aus den Werten des Berichts von 2010, dem JEDI-Modell, einer US-Studie (National Commission on Energy Policy 2009) und eines ISF-Forschungsprojekts (National Commission on Energy Policy 2009; National Renewable Energy Laboratory 2011b; Rutovitz & Harris 2012a; Rutovitz & Usher 2010). Der Rohstofffaktor pro PJ ist ein gewichteter Mittelwert der Beschäftigung in der Gasförderung in den USA, in Kanada und in Russland, der auf US- und kanadischen Angaben beruht (America's Natural Gas Alliance 2008; IHS Global Insight (Canada) Ltd 2009; Zubov 2012).
- Atomenergie:** Der Unterhalts- und Betriebsfaktor stammt von den lokalen Daten für Arbeitskräfte an zwei Atomkraftwerken, die zusammen 85% der Schweizer Leistung produzieren. Die beiden Kraftwerke haben fast 1500 Beschäftigte und zusammen eine Leistung von 2935 MW (Axpo 2013; Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG 2012). Der Baufaktor ist der Mittelwert aus zwei Studien aus Grossbritannien und einer aus den USA (Cogent Sector Skills Council 2010, 2011; National Commission on Energy Policy 2009). Der Fertigungsfaktor ist der Mittelwert aus zwei britischen Berichten (berichtet von Rutovitz & Harris 2012b). Der Rohstofffaktor wurde 2009 vom ISF errechnet (Rutovitz & Atherton 2009).
- Bioenergie:** Der Brennstoffeinsatz pro PJ Primärenergie beruht auf der gemeldeten Nutzung von Holz zur Heizung im Jahr (Nathani et al. 2013). Leider stand keine Aufschlüsselung in Brennstoffe und andere Einsatzzwecke zur Verfügung, daher wurde der Wert anhand des in Österreich ermittelten Quotienten von Rohstoffeinsatz zu Betrieb und Unterhalt (österreichische Umwelttechnikbranche 2012) angepasst. Dieser Wert wurde durch die 43,3 PJ an Brennholz geteilt, die Berichten zufolge im Jahr 2010 verbraucht wurden (Primas, Cloos, Kessler, Ag & Auftrag 2011). Die Arbeitsplatzfaktoren für Bau und Fertigung sowie Betrieb und Unterhalt verwenden den Mittelwert aus mehreren europäischen und US-Studien (Kjaer 2006; Moreno & López 2008; Thornley 2006; Thornley et al. 2009; Thornley, Rogers & Huang 2008; Tourkolias & Mirasgedis 2011).
- Wasserkraft:** Der Faktor für Betrieb und Unterhalt ist ein lokaler Faktor für die Beschäftigung durch zwei Unternehmen, die 874 Mitarbeiter in 41 Kraftwerken beschäftigen, mit einer Gesamtleistung von 4395 MW (Grande Dixence 2011; Kraftwerke Oberhasli AG 2009). Die Bau- und Fertigungsfaktoren sind gemittelte Werte aus einer kanadischen Studie, dem JEDI-Modell und einer US-Studie, mit grossen und kleinen Wasserkraftwerken (National Renewable Energy Laboratory 2011c; Navigant Consulting 2009; Pembina Institute 2004).
- Windenergie onshore:** Der verwendete Installationsfaktor stammt von der European Wind Energy Association (EWEA) (European Wind Energy Association 2009) und wurde bereits in früheren Analysen verwendet. Der Fertigungsfaktor wurde anhand der Beschäftigung pro MW bei der Turbinenfertigung bei Vestas zwischen 2007 und 2011 (Vestas 2011) berechnet, welcher für die Gesamtfertigung mit Hilfe des Quotienten angepasst wurde, der von der EWEA verwendet wird (European Wind Energy Association 2009). Weitere Einzelheiten siehe Rutovitz & Harris 2012a.
- Photovoltaik:** Der Arbeitsplatzfaktor für die PV-Installation ist der Mittelwert aus fünf Schätzungen aus Deutschland und den USA, wogegen der Wert für die Fertigung vom JEDI-Modell (National Renewable Energy Laboratory 2010a), einer griechischen Studie (Tourkolias & Mirasgedis 2011), einem koreanischen Nationalbericht (Korea Energy Management Corporation (KEMCO) & New and Renewable Energy Center (NREC) 2012) und ISF-Untersuchungen für Japan (Rutovitz & Ison 2011) stammen.
- Geothermie:** Die Bau- und Installationsfaktoren sowie der Faktor für Betrieb und Unterhalt stammen aus einer Studie von Sinclair Knight Merz (2005). Bei Betrieb und Unterhalt handelt es sich um gewichtete Mittelwerte der Beschäftigungsdaten, die für 13 Kraftwerke in den USA, Kanada, Griechenland und Australien (einige davon hypothetisch) gemeldet wurden, welche zusammen 1050 MW an Leistung liefern. Der Fertigungsfaktor stammt aus einer US-Studie (Geothermal Energy Association 2010).
- Erdwärme und Wärmepumpen:** Es wurde ein einzelner Gesamtfaktor für die Arbeitsplätze pro installierte MW-Leistung verwendet, der vom Jahresbericht der US-EIA stammt (US Energy Information Administration 2010). Er wurde anhand von Daten der WaterFurnace (WaterFurnace 2009) angepasst, um den Installationsfaktor zu berücksichtigen.
- Solarthermie, Wärme:** Es wurde ein einzelner Gesamtfaktor für die Arbeitsplätze pro installierte MW-Leistung verwendet, da dies die einzigen Daten waren, die zur Verfügung standen. Er beruht auf der Anzahl Arbeitsplätze, die 2010 im Bereich der Solarheizung gemeldet wurden, und auf der im selben Jahr installierten Leistung (Nathani et al. 2013; Weiss & Mauthner 2012).

7.4.4 Handel mit Steinkohle, Erdgas und erneuerbaren Technologien

Es wird davon ausgegangen, dass die Fertigung für Energietechnologien in der Schweiz stattfindet ausser für die Windkrafttechnologie, die zu 70% anderweitig gefertigt wird.

Zurzeit gibt es einen grossen Exportmarkt für PV-Komponenten, von dem angenommen wird, dass er bestehen bleibt. Die Grösse des Marktes wurde berechnet, indem die errechnete Beschäftigung im Bereich Betrieb und Unterhalt im Jahr 2010 von der geschätzten Gesamtbeschäftigung im PV-Bereich von 2500 im Jahr 2010 abgezogen wurde (Nathani et al. 2013). Daraus ergeben sich 2000 Arbeitsplätze, die aus dem Export von Komponenten im Umfang von rund 300 MW resultieren. Es wird angenommen, dass dieser Wert unverändert bleibt, sodass die Schweiz im gesamten Studienzeitraum einen Exportmarktanteil von rund 300 MW PV beibehält.

Alles Erdgas, alle Steinkohle und alle Kernbrennstoffe werden in die Schweiz importiert. Daher wird davon ausgegangen, dass alle Arbeitsplätze in Verbindung mit der Lieferung dieser Rohstoffe anderweitig entstehen.

7.4.5 Anpassung an Lernraten – Rückgangsfaktoren

Die Arbeitsplatzfaktoren werden angepasst, um den Rückgang in der Beschäftigung pro Einheit der erbrachten Stromleistung zu berücksichtigen, der durch eine Heranreifung der Technologien und der Produktionstechnik stattfindet. Die angenommenen Lernraten haben deutliche Auswirkungen auf die Ergebnisse der Analyse und sind in Tabelle 7.13 aufgeführt. Diese Rückgangsraten werden unmittelbar aus den Kostendaten errechnet, die im E[R]-Szenario für die Schweiz verwendet wurden.

Tabelle 7.13: Rückgangsfaktoren bei den Technologiekosten

	JÄHRLICHER RÜCKGANG DER ARBEITSPLATZFAKTOREN		
	2010-2015	2015-2020	2020-30
Steinkohle	0,3%	0,3%	0,5%
Braunkohle	0,4%	0,4%	0,4%
Erdgas	0,5%	0,5%	1,0%
Erdöl	0,4%	0,4%	0,8%
Diesel	0,0%	0,0%	0,0%
Atomenergie	0,0%	0,0%	0,0%
Biomasse	1,6%	1,1%	0,7%
Wasserkraft	-0,6%	-0,6%	-0,9%
Windkraft onshore	3,6%	2,8%	0,2%
Photovoltaik	8,0%	4,4%	4,2%
Geothermie – Strom	3,5%	5,4%	7,3%
Solarthermie – Strom	5,6%	5,1%	2,8%
Steinkohle – WKK	0,3%	0,3%	0,5%
Braunkohle – WKK	0,3%	0,3%	0,5%
Erdgas – WKK	0,9%	0,9%	1,0%
Erdöl – WKK	0,4%	0,4%	0,8%
Biomasse – WKK	2,0%	2,2%	2,2%
Geothermie – WKK	2,6%	3,2%	4,5%
Geothermie – Wärme	0,0%	0,2%	0,9%
Solarthermie – Wärme	0,0%	0,9%	1,8%

Literaturverzeichnis

- America's Natural Gas Alliance. (2008). *Natural gas. Working for America*.
- Austrian environmental technology industry. (2012). Facts & Figures. Retrieved from www.umwelttechnik.at/en/renewable-energy/bioenergy/facts-figures/
- Axpo. (2013). Kernenergie - Kernkraftwerk Beznau. Retrieved June 17, 2013, from www.axpo.com/axpo/ch/de/axpo-erleben/kraftwerke/kernenergie.html#tab2
- Cogent Sector Skills Council. (2010). *The South West Nuclear Workforce*.
- Cogent Sector Skills Council. (2011). *Future skills for the nuclear industry in North Wales (Wylfa and Trawsfynydd)*.
- European Renewable Energy Council. (2008). *Renewable energy technology roadmap. 20% 2020*.
- European Wind Energy Association. (2009). *Wind at Work*.
- Geothermal Energy Association. (2010). *Green Jobs Through Geothermal Energy* (pp. 1–22).
- Grande Dixence. (2011). *Rapport Exercice 2011*.
- IHS Global Insight (Canada) Ltd. (2009). *The contributions of the natural gas industry to the Canadian national and provincial economies*.
- International Energy Agency. (2007). *World Energy Outlook 2007*.
- International Energy Agency. (2011). *World Energy Outlook 2011*. Paris: OECD/IEA.
- Kernkraftwerk Gösgen-Däniken AG. (2012). *Geschäftsbericht 2012*.
- Kjaer, T. (2006). *Socio-economic and regional benefits. Employment assessment. Regenergy*.
- Korea Energy Management Corporation (KEMCO) & New and Renewable Energy Center (NREC). (2012). *Overview of new and renewable energy in Korea 2012*.
- Kraftwerke Oberhasli AG. (2009). *Die KWO übernimmt Verantwortung für Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*.
- Moreno, B., & López, A. J. (2008). The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(3), 732–751.
- Nathani, C., Bernath, K., Schmid, C., Rieser, A., Rütter, H., Felten, N. von, Walz, R., et al. (2013). *Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz*.
- National Commission on Energy Policy. (2009). *Task force on America's future energy jobs*.
- National Renewable Energy Laboratory. (2010). Jobs and Economic Development Model (JEDI)- PHOTOVOLTAICS model: Release Number: PV10.17.11.
- National Renewable Energy Laboratory. (2011a). Jobs and Economic Development Model (JEDI) - COAL model: Release Number: C1.11.1.
- National Renewable Energy Laboratory. (2011b). Jobs and Economic Development Model (JEDI) - GAS model: Release Number: NG1.11.01.
- National Renewable Energy Laboratory. (2011c). Jobs and Economic Development Model (JEDI) - Marine and Wasserkinetic model: Release Number: MH1.11.01.
- Navigant Consulting. (2009). *Job Creation Opportunities in Wasserpower*.
- Pembina Insitute. (2004). *Canadian renewable electricity development: employment Impacts*.
- Primas, A., Cloos, L., Kessler, F. M., Ag, H., & Auftrag, I. (2011). Schweizerische Holzenergiestatistik Erhebung für das Jahr 2010, (August).
- Rutovitz, J., & Atherton, A. (2009). *Energy sector jobs to 2030: a global analysis*. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.
- Rutovitz, J., & Harris, S. (2012a). *Calculating global energy sector jobs: 2012 methodology*. Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney.
- Rutovitz, J., & Harris, S. (2012b). Chapter 7 in «*The advanced energy IrJevolution. A sustainable energy outlook for South Korea*.» Greenpeace International and European Renewable Energy Council. Renewable Energy.
- Rutovitz, J., & Ison, N. (2011). Chapter 2 in «*The advanced energy IrJevolution. A sustainable energy outlook for Japan*.» (2nd Editio.). Greenpeace International and European Renewable Energy Council.
- Rutovitz, J., & Usher, J. (2010). Methodology for calculating energy sector jobs. *Prepared for Greenpeace International by the Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney*.
- Sinclair Knight Merz. (2005). Review of current and future personnel capability requirements of the NZ geothermal industry.
- Thornley, P. (2006). *Life Cycle Assessment of Bioenergy Systems*.
- Thornley, P., Rogers, J., & Huang, Y. (2008). Quantification of employment from biomass power plants. *Renewable Energy*, 33(8), 1922–1927.
- Thornley, P., Upham, P., Huang, Y., Rezvani, S., Brammer, J., & Rogers, J. (2009). Integrated assessment of bioelectricity technology options. *Energy Policy*, 37(3), 890–903.
- Tourkolias, C., & Mirasgedis, S. (2011). Quantification and monetization of employment benefits associated with renewable energy technologies in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2876–2886.
- US Energy Information Administration. (2010). *Solar Thermal Collector Manufacturing Activities 2009*.
- Vestas. (2011). *Annual report 2011*.
- WaterFurnace. (2009). Renewable energy is poised to contribute to economic recovery and long-term energy goals (press release).
- Weiss, W., & Mauthner, F. (2012). *Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to Energy Supply 2010*. IEA Heating and Cooling Programme.
- Zubov, A. N. (2012). Personal communication, 29-5-2012. Ignatov & Company Group.



Schweiz: Referenzszenario POM

Tabelle 7.14: Schweiz: Elektrizität-Produktion

TWh/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitäts-Kraftwerke	63	64	65	60	65	71
Steinkohle	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	4,2	9,4	7,2
<i>davon H₂</i>	0	0	0	0	0	0
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	26	25	22	8,8	0	0
Biomasse	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Wasser	36	39	42	43	43	44
Wind	0,04	0,4	0,7	1,5	2,6	4,3
PV	0,1	0,3	0,5	1,9	6,7	11
Geothermie	0	0,1	0,2	0,8	2,4	4,4
Wärme-Kraftkopplungs-Anlagen (WKK)	3,4	4,3	5,4	7,7	7,8	7,9
Steinkohle	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	1,0	1,5	1,8	2,2	2,0	1,9
<i>davon H₂</i>	0	0	0	0	0	0
Öl	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Biomasse	1,2	1,6	2,2	4,0	4,3	4,4
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Produktion insgesamt	66	69	71	68	73	79
Fossile	2,3	3,2	3,2	7,9	13	11
Steinkohle	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	1,0	1,5	1,8	6,4	11	9
Öl	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	26	25	22	8,8	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Erneuerbare Energien (EE)	37	41	46	51	60	68
Wasser	36	39	42	43	43	44
Wind	0,04	0,4	0,7	1,5	2,6	4,3
PV	0,1	0,3	0,5	1,9	6,7	11
Biomasse & erneuerbarer Abfall	1,3	1,6	2,3	4,1	4,4	4,4
Geothermie	0	0,1	0,2	0,8	2,4	4,4
Verteilungsverluste und Eigenverbrauch	7	9	12	12	11	11
Elektrizität für Wasserstoff-Produktion	0	0	0	0	0	0
Endenergieverbrauch (Elektrizität)	60	61	60	58	60	62
Fluktuierende EE (PV, Wind)	0	1	1	3	9	15
Anteil fluktuierende EE	0,2%	0,9%	1,7%	5,0%	12,9%	19,4%
Anteil EE (inländische Produktion)	56,7%	60,2%	64,7%	75,3%	82,1%	86,4%

Tabelle 7.15: Schweiz: Wärmeversorgung

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Fernwärme-Anlagen	3	4	4	4	4	4
Fossile Energieträger	3	4	4	4	4	4
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Solar Kollektoren	0	0	0	0	0	0
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Wärme von WKK-Anlagen	16	17	20	24	21	19
Fossile Energieträger	8	9	10	11	9	8
Biomasse	7	7	9	13	13	11
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Heizanlagen	409	382	361	311	270	237
Fossile Energieträger	302	274	246	189	148	119
Biomasse	33	33	34	33	30	28
Solar Kollektoren	3	2	4	8	12	15
Geothermie ¹⁾	18	24	32	46	53	53
Elektrizität ²⁾	54	50	46	34	27	22
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Wärmeversorgung total¹⁾	428	403	385	339	295	259
Fossile Energieträger	313	287	261	204	160	130
Biomasse	40	40	43	46	43	39
Solar Kollektoren	2	2	4	8	12	15
Geothermie ¹⁾	18	24	32	46	53	53
Elektrizität ²⁾	54	50	46	34	27	22
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
EE-Anteil (inklusive Elektrizität aus EE)	21,3%	23,9%	28,1%	37,3%	44,0%	48,7%

1) inklusive Wärmepumpen; 2) direkte Elektroheizungen.

Tabelle 7.16: Schweiz: CO₂ Emissionen

MtO t/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitätskraftwerke	0,1	0	0	1,4	3,1	2,3
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	0,1	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	1,4	3,1	2,3
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen	1,3	1,5	1,6	1,6	1,5	1,4
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6
Öl	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
CO₂ Emissionen Kraftwerke und WKK-Anlagen	1,4	1,5	1,6	3,0	4,6	3,7
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0,3	0,5	0,6	0,7	0,6	0,6
Öl & diesel	0	0	0	0	0	0
CO₂ Emissionen in den Sektoren	43	39	35	29	25	20
% der Emissionen von 1990 (41,1 Mio. t) 105%	95%	86%	71%	61%	49%	
Industrie	6,4	6,7	6,4	5,5	4,9	4,3
Haushalte und Dienstleistungen	18	15	13	9,4	6,8	5,1
Verkehr	18	16	14	11	8,8	7,3
Elektrizitätsproduktion	0,2	0,1	0,1	1,5	3,2	2,5
Umwandlungsverluste ¹⁾	1,5	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
Bevölkerung in Mio.	7,8	8,1	8,4	8,7	8,9	9,0
CO₂ Emissionen pro Kopf (t/Kopf)	5,6	4,8	4,2	3,3	2,8	2,3

1) Fernwärme, Raffinerien, Erdgas transport.

Tabelle 7.17: Schweiz: Installierte Leistung

GW	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitäts-Kraftwerke	16	17	18	21	26	32
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (inkl. H ₂)	0	0	0	1,1	2,2	2,2
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	3,3	3,3	2,9	1,2	0	0
Biomasse & erneuerbarer Abfall	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Wasser	12	13	14	14	15	15
Wind	0,04	0,4	0,6	1,1	1,7	2,5
PV	0,1	0,3	0,5	2,0	7,0	12
Geothermie	0	0,02	0,03	0,1	0,4	0,7
Wärme-Kraftkopplungs-Anlagen (WKK)	1,0	1,2	1,5	2,1	2,1	2,2
Steinkohle	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (ohne H ₂)	0,3	0,4	0,5	0,6	0,5	0,5
Öl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Biomasse	0,3	0,4	0,6	1,1	1,2	1,2
Geothermie	0	0	0	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Produktion insgesamt	17	18	20	22	28	34
Fossile	0,6	0,8	0,9	2,1	3,2	3,2
Steinkohle	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (ohne H ₂)	0,3	0,4	0,5	1,7	2,7	2,7
Öl	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	3,3	3,3	2,9	1,2	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	0	0
Erneuerbare Energien (EE)	13	14	16	19	25	31
Wasser	12	13	14	14	15	15
Wind	0,04	0,4	0,6	1,1	1,7	2,5
PV	0,1	0,3	0,5	2,0	7,0	12
Biomasse & erneuerbarer Abfall	0,4	0,5	0,6	1,1	1,2	1,2
Geothermie	0	0,02	0,03	0,1	0,4	0,7
Fluktuierende EE (PV, Wind)	0,1	0,6	1,1	3,1	9	14
Anteil fluktuierende EE	0,8%	3,5%	5,8%	14,1%	31,0%	41,3%
Anteil EE (inländische Produktion)	76,6%	78,0%	80,9%	85,1%	88,8%	90,7%

Tabelle 7.18: Schweiz: Primärenergienachfrage

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Total	1087	1088	1055	893	806	777
Fossile	598	574	524	443	392	324
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	38	36	36	33	30	27
Braunkohle	1	0	0	0	0	0
Erdgas	126	123	124	141	155	129
Rohöl	433	415	364	269	207	168
Atombrennstoffe	279	260	229	91	0	0
Erneuerbare Energien (EE)	210	254	302	360	414	453
Wasser	130	140	151	154	156	159
Wind	0	1	2	5	9	15
Solar	2	3	6	15	36	55
Biomasse & erneuerbarer Abfall	67	90	114	128	117	106
Geothermie	11	20	29	58	96	118
Erneuerbare Energie	13,1%	16,6%	24,4%	35,6%	50,3%	57,6%

tabelle 7.19: Schweiz: Endenergieverbrauch

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Total (inkl. nicht-Energie Anteil)	881	841	801	710	642	598
Total Energienutzung	859	818	779	687	619	575
Verkehr	253	239	224	188	164	150
Erdöl-Produkte	240	217	192	150	118	98
Erdgas	1	1	1	1	1	1
Biomasse	0	9	16	17	17	17
Elektrizität	11	13	14	20	2	

Schweiz: energy [r]evolution scenario

Tabelle 7.20: Schweiz: Elektrizität-Produktion

TWh/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitäts-Kraftwerke	63	60	57	54	58	62
Steinkohle	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	0	0	0
<i>davon H₂</i>	0	0	0	0	0	0
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	26	22	16	0	0	0
Biomasse	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,9
Wasser	36	36	36	37	37	37
Wind	0,04	0,4	0,7	2,6	3,4	4,0
PV	0,1	0,7	3,3	15	16	19
Geothermie	0	0	0,04	0,1	0,9	1,5
Wärme-Kraftkopplungs-Anlagen (WKK)	3,4	4,5	5,7	7,8	8,7	9,2
Steinkohle	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	1,0	1,5	1,7	1,5	0,9	0,2
<i>davon H₂</i>	0	0	0	0	0	0
Öl	0,06	0,06	0,05	0,04	0	0
Biomasse	1,2	1,8	2,8	4,5	5,1	5,4
Geothermie	0	0,1	0,2	0,6	1,5	2,3
Wasserstoff	0	0	0	0	0	1
Produktion insgesamt	66	64	63	62	67	71
Fossile	2,3	2,6	2,8	2,4	1,5	0,8
Steinkohle	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	1,0	1,5	1,7	1,5	0,8	0,1
Öl	0,1	0,06	0,05	0,04	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	26	22	16	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0	1	0
Erneuerbare Energien (EE)	37	39	43	59	65	70
Wasser	36	36	36	37	37	37
Wind	0,04	0,4	0,7	2,6	3,4	4,0
PV	0,1	0,7	3,3	15	16	19
Biomasse & erneuerbarer Abfall	1,3	1,9	2,9	4,7	5,4	6,4
Geothermie	0	0,1	0,2	0,8	2,4	3,8
Verteilungsverluste und Eigenverbrauch	7	7	8	8	8	8
Elektrizität für Wasserstoff-Produktion	0	0	0	1	7	10
Endenergieverbrauch (Elektrizität)	60	59	59	58	60	63
Fluktuierende EE (PV, Wind)	0	1	4	17	20	23
Anteil fluktuierende EE	0,2%	1,6%	6,3%	27,7%	29,5%	31,6%
Anteil EE (inländische Produktion)	56,7%	61,1%	69,5%	95,7%	96,9%	98,0%
Einsparungen im Vergleich zur Referenz	0	1	2	4	6	8

Tabelle 7.21: Schweiz: Wärmeversorgung

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Fernwärme-Anlagen	3,2	3,2	3,2	3,1	3,0	2,9
Fossile Energieträger	3,2	3,2	3,0	2,7	1,6	0,1
Biomasse	0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3
Solkollektoren	0	0	0	0,2	1,9	3,7
Geothermie	0	0	0	0,1	0,4	0,6
Wärme von WKK-Anlagen	16	18	22	26	26	23
Fossile Energieträger	8	9	8	6	4	2
Biomasse	7	9	12	14	12	10
Geothermie	0	1	1	5	8	9
Wasserstoff	0	0	0	1	2	2
Heizanlagen	409	377	345	271	230	203
Fossile Energieträger	302	267	228	132	50	5
Biomasse	35	32	31	26	22	18
Solkollektoren	2	3	7	20	33	37
Geothermie ¹⁾	18	25	37	69	99	113
Elektrizität ²⁾	54	50	41	24	19	18
Wasserstoff	0	0	0	0	7	12
Wärmeversorgung total¹⁾	428	399	371	300	259	230
Fossile Energieträger	313	279	240	140	55	7
Biomasse	40	41	43	40	35	29
Solkollektoren	2	3	7	20	34	39
Geothermie ¹⁾	18	26	39	74	107	123
Elektrizität ²⁾	54	50	41	24	19	18
Wasserstoff	0	0	0	1	9	14
EE-Anteil (inklusive Elektrizität aus EE)	21,3%	25,2%	31,9%	51,9%	78,3%	96,8%
Einsparungen im Vergleich zur Referenz	0	4	15	39	36	30

1) inklusive Wärmepumpen; 2) direkte Elektroheizungen.

Tabelle 7.22: Schweiz: CO₂ Emissionen

MIO t/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitätskraftwerke	0,1	0,01	0,01	0	0	0
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	0,1	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0	0	0	0	0	0
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0,01	0,01	0	0	0
Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen	1,3	1,4	1,3	1,1	0,7	0,4
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2	0,03
Öl	0,03	0,03	0,03	0,02	0	0
CO₂ Emissionen Kraftwerke und WKK-Anlagen	1,4	1,4	1,3	1,1	0,7	0,4
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	1,1	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas	0,3	0,5	0,5	0,4	0,2	0,03
Öl & diesel	0,04	0,04	0,03	0,02	0	0
CO₂ Emissionen in den Sektoren	43	38	32	19	8,0	1,8
% der Emissionen von 1990 (41.1 Mio. t)	105%	92%	78%	46%	20%	4%
Industrie	1,8	1,5	1,2	0,6	0,1	0,1
Haushalte und Dienstleistungen	18	16	13	8,0	3,8	1,0
Verkehr	0,2	0,1	0,1	0,04	0,01	0
Elektrizitätsproduktion	1,5	1,5	1,4	1,0	0,5	0,1
Umwandlungsverluste ¹⁾	7,8	8,1	8,4	8,7	8,9	9,0
Bevölkerung in Mio.	7,8	8,1	8,4	8,7	8,9	9,0
CO₂ Emissionen pro Kopf (t/Kopf)	5,6	4,7	3,8	2,2	0,9	0,2
Einsparungen im Vergleich zur Referenz	0	1	3	10	17	18

1) Fernwärme, Raffinerien, Erdgas transport.

Tabelle 7.23: Schweiz: Installierte Leistung

GW	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Elektrizitäts-Kraftwerke	16	16	19	30	32	35
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	0	0	0	0	0	0
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (inkl. H ₂)	0	0	0	0	0	0
Öl	0	0	0	0	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	3,3	3,0	2,2	0	0	0
Biomasse & erneuerbarer Abfall	0,01	0,05	0,03	0,03	0,1	0,2
Wasser	12	12	12	12	13	13
Wind	0,04	0,4	0,6	2,0	2,2	2,3
PV	0,1	0,7	3,4	15	17	19
Geothermie	0	0	0,01	0,02	0,2	0,3
Wärme-Kraftkopplungs-Anlagen (WKK)	1,0	1,3	1,6	2,3	2,7	2,8
Steinkohle	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (ohne H ₂)	0,3	0,4	0,5	0,5	0,3	0,1
Öl	0,02	0,02	0,02	0,01	0	0
Biomasse	0,3	0,5	0,8	1,4	1,7	2,0
Geothermie	0	0,02	0,03	0,1	0,3	0,5
Wasserstoff	0	0	0	0,05	0,12	0,15
Produktion insgesamt	17	18	20	32	35	38
Fossile	0,6	0,7	0,8	0,7	0,5	0,2
Steinkohle	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2
Braunkohle	0	0	0	0	0	0
Erdgas (ohne H ₂)	0,3	0,4	0,5	0,5	0,2	0,04
Öl	0,02	0,02	0,02	0,01	0	0
Diesel	0	0	0	0	0	0
Atomenergie	3,3	3,0	2,2	0	0	0
Wasserstoff	0	0	0	0,05	0,12	0,15
Erneuerbare Energien (EE)	13	14	17	31	34	37
Wasser	12	12	12	12	13	13
Wind	0,04	0,4	0,6	2,0	2,2	2,3
PV	0,1	0,7	3,4	15	17	19
Biomasse & erneuerbarer Abfall	0,4	0,5	0,8	1,4	1,8	2,2
Geothermie	0	0,02	0,03	0,1	0,3	0,5
Fluktuierende EE (PV, Wind)	0	1	4	17	19	22
Anteil fluktuierende EE	0,8%	6,0%	20,0%	53,8%	55,5%	57,6%
Anteil EE (inländische Produktion)	76,6%	79,0%	85,2%	97,5%	98,2%	98,9%

Tabelle 7.24: Schweiz: Primärenergienachfrage

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Total	1087	1042	948	702	625	580
Fossile	598	557	478	297	140	46
Steinkohle & nicht-erneuerbarer Abfall	38	32	27	16	11	10
Braunkohle	1	0	0	0	0	0
Erdgas	126	121	119	97	49	8
Rohöl	433	404	332	184	80	28
Atombrennstoffe	279	236	172	0	0	0
Erneuerbare Energien (EE)	210	249	298	405	485	535
Wasser	130	130	131	133	133	133
Wind	0	1	2	9	12	14
Solar	2	6	19	73	93	105
Biomasse & erneuerbarer Abfall	67	94	116	126	126	126
Geothermie	11	18	29	64	121	155
Erneuerbare Energie	13,1%	24,0%	32,3%	58,5%	78,3%	92,4%
Einsparungen im Vergleich zur Referenz	0	46	107	191	181	197

Tabelle 7.25: Schweiz: Endenergieverbrauch

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Total (inkl. nicht-Energie Anteil)	881	824	763	624	530	465
Total Energienutzung	859	801	740	602	510	447
Verkehr						



Schweiz: Investitionen und Beschäftigung

Tabelle 7.26: Schweiz: Investitionen im Elektrizitätssektor

MILLIONEN CHF	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2011-2050	2011-2050 DURCHSCHN. PRO JAHR
Referenzszenario						
Konventionell (Atom und Fossil)	3,3	1,2	1,0	0,5	6,0	0,2
Erneuerbare Energien	15,3	11,5	17,0	17,6	61,3	1,5
Biomasse	1,4	1,9	1,1	1,3	5,7	0,1
Wasser	12,1	6,8	7,1	7,3	33,3	0,8
Wind	0,8	0,6	1,4	1,6	4,5	0,1
Photovoltaik	0,9	1,9	6,0	6,0	14,7	0,4
Geothermie	0,0	0,2	1,4	1,4	3,0	0,1
Energy [R]evolution						
Konventionell (Atom und Fossil)	0,5	0,3	0,1	0,0	0,9	0,0
Erneuerbare Energien	15,2	27,4	17,4	27,1	87,1	2,2
Biomasse	2,1	2,4	2,6	2,7	9,8	0,2
Wasser	6,0	6,5	6,5	6,4	25,4	0,6
Wind	0,8	1,7	1,0	1,8	5,3	0,1
Photovoltaik	5,9	16,1	5,5	14,0	41,4	1,0
Geothermie	0,3	0,8	1,9	2,2	5,2	0,1

Tabelle 7.27: Schweiz: Investitionen für erneuerbare Energien im Wärmesektor

(OHNE INVESTITIONEN IN FOSSILE ENERGIEN)

MILLIONEN CHF	2011-2020	2021-2030	2031-2040	2041-2050	2011-2050	2011-2050 DURCHSCHN. PRO JAHR
Referenzszenario						
Wärmepumpen	7074	7851	6002	4405	25 332	633
Erdwärme	1	0	0	1	2	0
Solarthermie	948	1376	1541	1589	5455	136
Biomasse	1598	285	82	53	2019	50
Erneuerbare (excl. WKK)	9621	9514	7625	6048	32 807	820
Energy [R]evolution szenario						
Wärmepumpen	8845	13 022	14 386	12 592	48 845	1221
Erdwärme	5	3	209	312	529	13
Solarthermie	1917	3863	4761	3841	14 383	360
Biomasse	290	284	109	81	764	19
Erneuerbare (excl. WKK)	11 058	17 172	19 465	16 827	64 521	1613

Tabelle 7.28: Schweiz: Beschäftigung im Energiesektor

ARBEITSPLÄTZE

	2010	2015	REFERENZ POM		ENERGY [R]EVOLUTION		
			2020	2030	2015	2020	2030
Nach Sektoren							
Planung, Bau und Installaton	2900	3200	1800	3600	3200	8200	3700
Herstellung	3000	2300	1500	1300	2000	2700	1100
Betrieb und Wartung	5000	5600	6000	6200	5400	6000	7000
Brennstoff-Versorgung (Inland)	9400	10 600	12100	12 700	11 100	12 600	12 600
Steinkohle und Erdgas Export	-	-	-	-	-	-	-
Solar und geothermische Wärme	3600	2700	4400	3700	4900	8300	9800
Total Arbeitsplätze	23 900	24 400	25800	27 500	26 600	37 800	34 200
Nach Technologien							
Kohle	100	200	100	100	100	100	100
Erdgas, Öl und Diesel	100	100	100	600	100	100	-
Atomenergie	1900	1800	1900	2100	2000	2100	2300
Total Erneuerbare	21 800	22 100	23 600	24 700	24 600	35 600	31 700
Biomasse	10 500	12 000	13 900	14 500	13 000	15 000	15 100
Wasser	5200	5500	3400	3700	2700	2800	3200
Wind	100	200	200	200	200	600	400
PV	2400	1800	1700	2500	3800	8800	3100
Geothermie Strom	-	-	-	100	-	100	100
Solarthermie	1000	500	1400	1400	2100	3600	5200
Erdwärme und Wärmepumpen	2600	2100	3000	2300	2800	4700	4600
Total Arbeitsplätze	23 900	24 300	25 800	27 500	26 700	37 700	34 100

Schweiz: Verkehr

Tabelle 7.29: Schweiz: Endenergieverbrauch Verkehr

PJ/a	2010	2015	2020	2030	2040	2050
Referenzszenario						
Strasse	236	221	205	169	145	130
Fossile Energieträger	235	211	187	144	113	93
Biomasse	0	9	16	17	17	17
Erdgas	1	1	1	1	1	1
Wasserstoff	0	0	0	0	1	3
Elektrizität	0	0	1	6	13	17
Schiene	12	13	14	15	15	15
Fossile Energieträger	1	1	1	1	0	0
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Elektrizität	11	12	13	14	14	15
Schifffahrt	2	2	2	2	1	1
Fossile Energieträger	1	1	1	1	1	1
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Inlandflüge	3	3	3	3	3	3
Fossile Energieträger	3	3	3	3	3	3
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Total (inkl. Pipelines)	253	239	224	188	164	150
Fossile Energieträger	240	217	192	150	118	98
Biomasse (incl. biogas)	0	9	16	17	17	17
Erdgas	1	1	1	1	1	1
Wasserstoff	0	0	0	0	1	3
Elektrizität	11	13	14	20	27	32
Total EE	7	16	26	37	44	50
EE Anteil	2.7%	6.8%	11.4%	17.3%	24.4%	30.9%
Energy [R]evolution						
Strasse	236	214	187	139	103	78
Fossile Energieträger	235	205	168	103	47	8
Biomasse	0	8	14	17	20	21
Erdgas	1	1	1	1	2	2
Wasserstoff	0	0	0	1	5	10
Elektrizität	0	0	4	17	29	37
Schiene	12	14	16	17	18	17
Fossile Energieträger	1	0	0	0	0	0
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Elektrizität	11	13	15	17	17	17
Schifffahrt	2	1	1	1	1	1
Fossile Energieträger	1	1	1	1	1	1
Biomasse	0	0	0	0	0	0
Inlandflüge	3	3	3	3	3	3
Fossile Energieträger	3	3	3	3	3	2
Biomasse	0	0	0	0	0	1
Total (inkl. Pipelines)	253	233	207	161	125	100
Fossile Energieträger	240	210	173	108	51	12
Biomasse (incl. biogas)	0	9	14	17	21	22
Erdgas	1	1	1	1	2	2
Wasserstoff	0	0	0	1	5	10
Elektrizität	11	14	19	34	46	54
Total EE	7	17	27	50	70	84
EE Anteil	2.7%	7.2%	13.3%	31.1%	56.4%	84.5%

energy [r]evolution



GREENPEACE

Greenpeace ist eine internationale Umweltorganisation, die sich seit 1971 weltweit für eine ökologische, soziale und gerechte Gegenwart und Zukunft einsetzt. In 40 Ländern arbeiten wir für den Schutz vor atomarer und chemischer Verseuchung, den Schutz der genetischen Vielfalt, des Klimas und für den Schutz von Wäldern und Meeren.

Greenpeace Switzerland,
Heinrichstrasse 147, Postfach, CH-8031
Zürich, Schweiz
t +41 44 447 41 41 f +41 44 447 41 99
www.greenpeace.ch



The Global Wind Energy Council (GWEC)

is the voice of the global wind energy sector. GWEC works at highest international political level to create better policy environment for wind power. GWEC's mission is to ensure that wind power established itself as the answer to today's energy challenges producing substantial environmental and economic benefits. GWEC is a member based organisation that represents the entire wind energy sector. The members of GWEC represent over 1 500 companies, organisations and institutions in more than 70 countries, including manufacturers, developers, component suppliers, research institutes, national wind and renewables associations, electricity providers, finance and insurance companies.

Rue d'Arlon 80
1040 Brussels, Belgium
t +32 2 213 1897 f +32 2 213 1890
info@gwec.net www.gwec.net



EREC

European Renewable Energy Council (EREC)

Created in April 2000, the European Renewable Energy Council (EREC) is the umbrella organisation of the European renewable energy industry, trade and research associations active in the sectors of bioenergy, geothermal, ocean, small hydro power, solar electricity, solar thermal and wind energy. EREC thus represents the European renewable energy industry with an annual turnover of €70 billion and employing 550,000 people.

Renewable Energy House, 63-67 rue d'Arlon
B-1040 Brussels, Belgium
t +32 2 546 1933 f +32 2 546 1934
errec@errec.org www.errec.org