

*CLEANTECH  
ENERGIESTRATEGIE*

***Impressum***

***Autoren***

Rita Bolliger  
Dr. Christian Zeyer

***Layout***

Darja Unold

November 2014

***swisscleantech***

Thunstrasse 82  
Postfach 1009  
3000 Bern 6

[swisscleantech.ch](http://swisscleantech.ch)

[@swisscleantechD](https://twitter.com/swisscleantech)  
[youtube.com/swisscleantech](https://www.youtube.com/swisscleantech)

# INHALT

1.	ENERGIE – BITTE WENDEN!	5
2.	AUSGANGSLAGE UND HERAUSFORDERUNGEN	8
3.	GRUNDSÄTZE UND ZIELE	10
4.	STRATEGIE: DIE VIER NEUEN SÄULEN	13
5.	DAS CLEANTECH-ENERGIEMODELL	15
6.	NACHFRAGEENTWICKLUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ	16
7.	ENERGIEANGEBOT IN HOHER QUALITÄT	20
8.	INTELLIGENTE VERTEILUNG UND SPEICHERUNG	34
9.	WETTBEWERBSFÄHIGE WIRTSCHAFT	41
10.	RESSOURCENVERBRAUCH	46
11.	SCHLUSSFOLGERUNGEN	48



# 1. ENERGIE – BITTE WENDEN!

Ende 2010 entschied sich swisscleantech, gemeinsam mit Experten, Mitgliederfirmen und Verbandsvertretern aus dem Bereich Energie, die energiepolitische Positionierung des Verbands zu erarbeiten. Die Eckwerte wurden am 9. März 2011, zwei Tage vor dem Unglück in Fukushima, veröffentlicht und dienten als Basis für die anschließende Ausarbeitung einer Energiestrategie aus einer Cleantech Perspektive.

Am 6. Juni 2011 stellte swisscleantech der Öffentlichkeit die erste **Cleantech Energiestrategie** vor. Kurz darauf sind der National- und später der Ständerat dem Bundesrat gefolgt und haben den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie beschlossen – hauptsächlich aus wirtschaftlichen Überlegungen. Zu diesem Zeitpunkt konnte swisscleantech als einziger Akteur nebst dem Bund (Prognos) ein eigenes Modell aufweisen, das nicht nur die Deckung des Strombedarfs beschreibt, sondern auch eine umfassende Darstellung von Energiebedarf und -deckung bis 2050 enthält. Das Cleantech Energiemodell wurde seither stetig verfeinert und verifiziert und durchlief auch eine Due-Diligence-Prüfung durch Ernst & Young mit Erfolg. Zudem wurden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Cleantech Energiestrategie am Center of Economic Research der ETH berechnet.<sup>1</sup>

Seither leistet swisscleantech mit der Cleantech Energiestrategie einen fundierten und von der Wirtschaft getragenen Diskussionsbeitrag zur Energiewende-Debatte. Ziel ist **eine wirtschaftsfreundliche und konsequente Umsetzung** der Energiewende. Dabei setzt swisscleantech auf möglichst marktwirtschaftliche Ansätze wie richtige Preise und ab 2021 auf ein umfassendes Klima- und Energielenkungssystem. Es geht um einen geordneten Ausstieg aus der nuklearen und der fossilen Energie – sowie um einen **geordneten Einstieg in eine Energiestrategie mit Fokus auf Effizienz, erneuerbare Energien und intelligente Netze**.

Dass die Energiewende technisch machbar ist, wurde im August 2013 vom breit abgestützten «Dialog neue Energiepolitik» bestätigt. Was die Wirtschaftlichkeit angeht, hat swisscleantech gezeigt, dass im schlimmsten Fall eine schwarze Null resultiert, unter Berücksichtigung aller Kosten aber durchaus wirtschaftliche Vorteile zu erwarten sind.

Unsere Mitglieder aus den unterschiedlichsten Branchen beweisen täglich, dass bereits heute Lösungen für eine nachhaltige Energiezukunft vorhanden sind. Es geht nicht mehr um die Frage, ob wir eine nachhaltige Energieversorgung erreichen können. Es geht um den politischen Umsetzungswillen und um die Erarbeitung einer wirtschaftlich attraktiven und mehrheitsfähigen Lösung.

Im Zentrum stehen dabei die rasche Verabschiedung des ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050 durch das Parlament und die Vorbereitung und Umsetzung eines umfassenden Klima- und Energielenkungssystems ab 2021. Als Zwischenschritt ist die Einführung einer Abgabe auf Strom aus fossilen und nuklearen Quellen aus dem In- und Ausland (Stichwort «Dreckstromabgabe») zu prüfen. Gleichzeitig sind der Abschluss des Stromabkommens mit der EU und der zweite Marktöffnungsschritt voranzubringen sowie der Dialog über ein zukünftiges Strommarktdesign auf europäischer Ebene aktiv zu führen.

<sup>1</sup> Vgl. Schweizer Energie- und Stromstudien im Vergleich (2013)  
[www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA\\_POL\\_Vergleich\\_2013\\_v06.pdf](http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA_POL_Vergleich_2013_v06.pdf)

## VERSION 4.0

Seit der ersten Erarbeitung im Jahr 2011 werden die [Cleantech Energiestrategie](#) und das dazugehörige [Cleantech Energiemodell](#) in einem permanenten Prozess überarbeitet. In thematischen [Fokusgruppen](#) werden die relevanten Aspekte und Resultate regelmässig mit Vertretern aus Industrie, Wissenschaft und Administration diskutiert. Im Zentrum stehen die Mobilität, die Stromerzeugung und -verteilung, die Energie in der Industrie sowie die Gebäudetechnik. Das Cleantech Energiemodell bietet heute die Möglichkeit, verschiedenste Szenarien durchzuspielen und damit relativ schnell Aussagen zu generieren, welche Stossrichtungen möglich und sinnvoll sind und welche nicht.

Für die aktuelle Ausgabe der Energiestrategie wurde der Bereich Strommarkt vollständig überarbeitet. Die dargelegten Erkenntnisse basieren auf umfangreichen Simulationen zur Funktion und den Mechanismen des Strommarktes. swisscleantech konnte damit einige Entwicklungen – zum Beispiel den Zerfall der Strompreise – voraussagen und erklären. Eine detailliertere Darstellung dieses Themas steht in einem separaten Hintergrundpapier ([«Die Zukunft des Strommarktdesigns»](#)) zur Verfügung.

Bisher wenig diskutiert ist die Frage, ob die materiellen Ressourcen, die für die Energiewende notwendig sind, überhaupt vorhanden sind. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Energiewende weltweit umgesetzt wird. Das Ressourcenteam von swisscleantech hat sich mit diesem Thema intensiv auseinandergesetzt. Eine Zusammenfassung der Resultate dieser Arbeit findet sich in Kapitel 10.

Die Cleantech Energiestrategie ist eine Zusammenfassung der Arbeiten, die swisscleantech seit 2011 im Bereich Energie vorangetrieben hat. Zusätzlich sind folgende vertiefende Hintergrundpapiere erhältlich:

[Hintergrundbericht Photovoltaik](#)  
Dezember 2012

[Schweizer Energie- und Stromstudien im Vergleich](#)  
Januar 2013

[Fact Sheet Übertragbare KKW Restlaufzeiten](#)  
August 2013

[Strommarkt, Strompreis und erneuerbare Energien](#)  
November 2014

[Konzept für eine Graustromstromabgabe](#)  
November 2014

[Ressourcen für die Energiewende, in Vorbereitung](#)  
verfügbar ab Dezember 2014

[Quotenmodell, in Vorbereitung](#)  
verfügbar ca. Januar 2015

Diese Publikationen sind unter folgendem Link verfügbar:  
[www.swisscleantech.ch/startseite/politik/klima-energie/](http://www.swisscleantech.ch/startseite/politik/klima-energie/)

## AUF DEN PUNKT GEBRACHT

### Die Cleantech Energiestrategie...

- ... ist eine Gesamtenergiestrategie und zeigt einen technisch machbaren und wirtschaftlich attraktiven Weg für eine geordnete Transformation des Energiesystems auf, welche den Ausstieg aus der Kernenergie, die Reduktion der Nutzung der fossilen Energieträger und den Einstieg in eine breite Nutzung der erneuerbaren Energien umfasst.
- ... orientiert sich an klaren Zielvorgaben bis 2050, inklusive der Klimaziele.
- ... wendet den Vollkostenansatz auf alle Energieformen an.
- ... berücksichtigt den Preis und die Qualität der Energie als Entscheidungskriterien.
- ... stellt die wirtschaftlichen Chancen für Schweizer Produkte und Dienstleistungen im lokalen Markt sowie für den Export ins Zentrum.
- ... legt den Fokus auf Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Netze.
- ... setzt auf einen dezentralen, liberalisierten und internationalen Energiemarkt.
- ... beruht auf dem Cleantech Energiemodell und dem in den Fokusgruppen von swisscleantech erarbeiteten Wissen.
- ... schlägt ein Massnahmenpaket mit kurzfristig umsetzbaren und langfristig wirksamen Implementierungsmöglichkeiten vor.
- ... sieht vor, dass ab 2021 die notwendigen Förderinstrumente durch ein umfassendes Klima- und Energielenkungssystem und ein verändertes Strommarktdesign abgelöst werden.

## 2. AUSGANGSLAGE UND HERAUSFORDERUNGEN

### **Gefragt ist eine Gesamtenergiestrategie**

Strom-, Energie-, Klima-, Sicherheits- und Wirtschaftsfragen sind eng miteinander verknüpft. Die Schweizer Stromproduktion wird von vielen Faktoren bestimmt: Etwa vom Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, vom Konsumentenverhalten und von der technologischen Entwicklung. Aber auch die Abhängigkeit vom Ausland, die Qualität der Netzinfrastruktur und die Einbindung der Schweiz in den internationalen Strommarkt spielen eine wichtige Rolle. Gefragt ist eine Gesamtenergiestrategie als sinnvolles Paket von Zielen und Massnahmen. Für swisscleantech stehen dabei die wirtschaftlichen Chancen für die Schweiz sowie die international anerkannten Klimaziele im Vordergrund.

### **Es besteht eindeutiger Handlungsbedarf**

Die Schwächen unserer heutigen Energieproduktion und -versorgung sind vielfältig. Sie zeigen sich etwa in der bevorstehenden Verknappung des leicht verfügbaren Öls und in Öl-Katastrophen, zum Beispiel derjenigen im Golf von Mexiko im Jahr 2011. Der Klimawandel als eine der grössten Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft steht im direkten Zusammenhang mit den fossilen Ressourcen. Wollen wir das 2-Grad-Ziel erreichen, wird es notwendig sein, mindestens zwei Drittel der heute bekannten fossilen Ressourcen im Boden zu belassen und nicht zu verwenden.<sup>2</sup>

Wie sehr die Wirtschaft durch die politische Instabilität in den Förderländern bedroht ist, zeigen auch die starken Preisschwankungen mit einer kontinuierlichen Tendenz nach oben. Die Entwicklungen der letzten Jahre in Nordafrika, im Mittleren Osten und in Russland bestätigen eindeutig den Handlungsbedarf. Das Unglück von Fukushima liegt nun schon drei Jahre zurück, und es wird immer klarer, dass auch die Kernenergie keine Lösung für die Herausforderungen im Energiebereich darstellt.

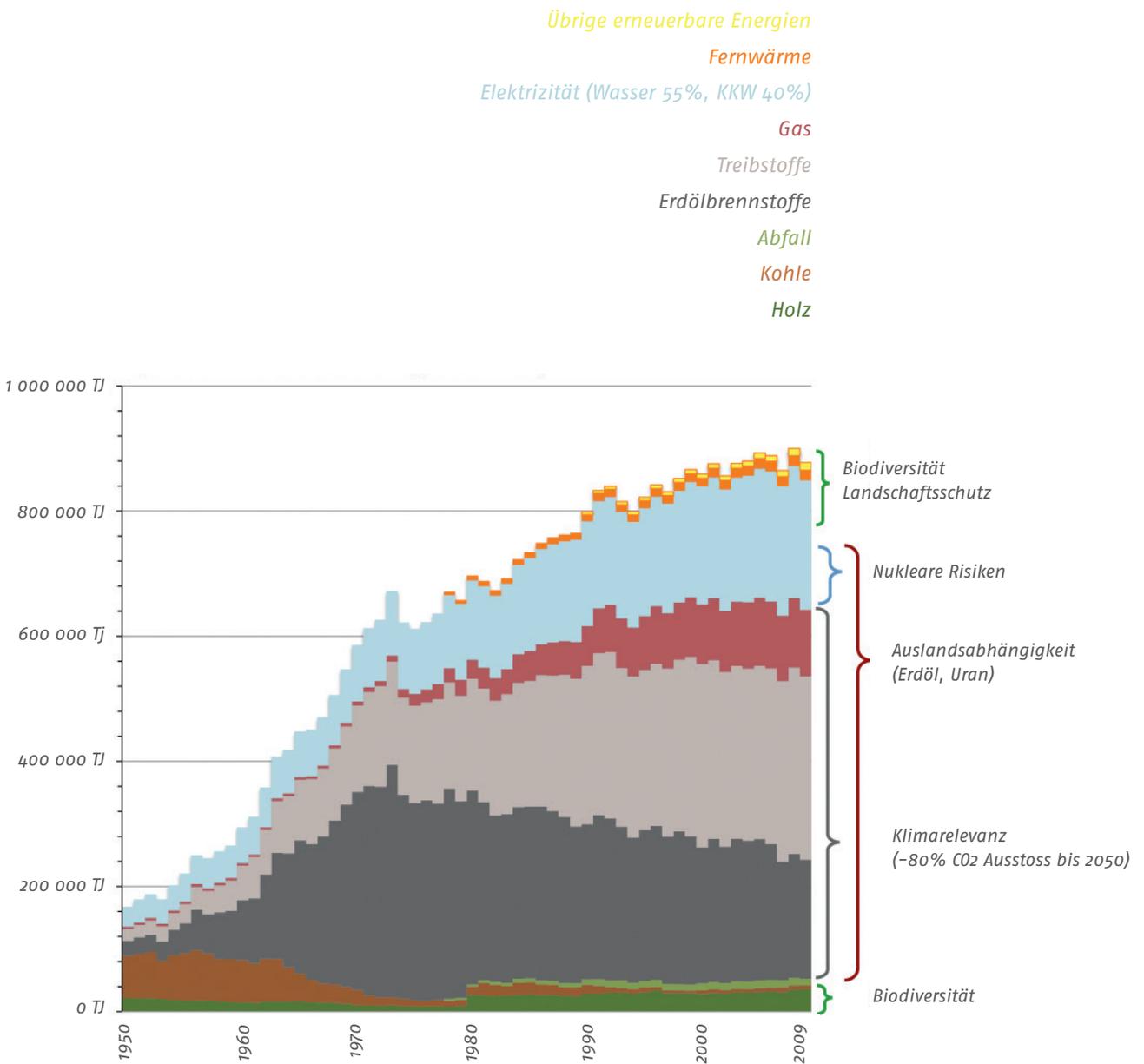
Im Interesse einer nachhaltigen, unabhängigen und wettbewerbsfähigen Wirtschaft muss die Schweiz den Weg in Richtung Energieeffizienz, erneuerbare Energien und intelligente Netze jetzt einschlagen.

### **Die Herausforderungen sind vielfältig**

Eine Gesamtenergiestrategie für die Schweiz ist ein komplexes Gebilde und hängt von den verschiedensten Annahmen ab. Es spielt auch eine wichtige Rolle, welche politischen Massnahmen wann ergriffen werden. Die verbreitete Ansicht, das Stromangebot könnte knapp werden, was zwingend zum Bau von neuen KKW's oder neuen Gaskombikraftwerken führe, greift zu kurz und ist der Schweizer Wirtschaft nicht dienlich. Ausserdem lenkt diese Diskussion den Fokus einseitig auf das Thema Stromversorgung. Dabei wird ignoriert, dass wir derzeit ca. 70% unserer Gesamtenergie in Form von fossiler Energie aus dem Ausland beziehen und dass die Schweiz im Land selber nicht über den Rohstoff Uran verfügt und auch dort eine Abhängigkeit besteht. Die Herausforderungen der heutigen Energieversorgung sind vielfältig (vgl. Abbildung 1) und verlangen eine Wende – eine zeitgerechte, umfassende Energiestrategie. Es gibt keinen Plan B.

<sup>2</sup> IEA, World Energy Outlook (2012): «No more than one-third of proven reserves of fossil fuels can be consumed prior to 2050 if the world is to achieve the 2 °C goal.»

Abbildung 1  
Endenergieverbrauch Schweiz zwischen 1950 und 2009



Quelle: BFE und FFGS

### 3. GRUNDSÄTZE UND ZIELE

Dass in der Energiepolitik Handlungsbedarf besteht, ist unbestritten. Die Notwendigkeit und der Nutzen einer Energiewende sind heute überwiegend anerkannt. In den kommenden Jahren sollen und müssen entscheidende Anstrengungen unternommen werden – im Interesse von Wirtschaft und Gesellschaft. Diese Neuorientierung bringt Gestaltungsfreiraum, der im Sinne einer zukunftsfähigen Schweiz genutzt werden soll. Gleichzeitig verlangt er nach klaren Zielvorgaben, um die notwendige Planbarkeit sicherzustellen. swisscleantech hat daher die Grundsätze und Ziele für eine nachhaltige Zukunft der Schweizer Energieversorgung definiert und den Weg dahin aufgezeichnet.

#### **Konsequente Berücksichtigung von Kostenwahrheit und Risiko – bei allen Energieformen**

Entscheidend für den Energieversorgungsmix der Zukunft sind die wahren Kosten der einzelnen Energiequellen (Vollkostenrechnung). Dazu gehören die Kosten von CO<sub>2</sub>-Emissionen, Subventionen, Versicherung, Rückbau, Entsorgung und Stilllegung, die Kosten des Verlusts an Biodiversität, Gesundheitskosten sowie die geopolitischen Verfügbarkeitsrisiken. Zum Beispiel muss bei der Frage der Auslandsabhängigkeit unterschieden werden, ob es sich bei «Importen» um libysches Öl (hohes geopolitisches Risiko) oder deutschen Windstrom (tiefes geopolitisches Risiko) handelt. Berücksichtigt werden muss aber auch, wie verfügbar die Energien im Tagesverlauf sind – ein Aspekt, der bei der Wind- und der Sonnenenergie ein besonderes Augenmerk verlangt. Ausserdem muss der Preis für jede Erzeugungstechnologie so ausgelegt sein, dass eine adäquate Entschädigung für die getätigten Investitionen resultiert.

Erst wenn die Vollkosten im Preis und in den Rahmenbedingungen integriert sind, entsteht Planungssicherheit für Investoren. Die Lenkung über den Preis schafft für die Wirtschaft einen permanenten, transparenten und effizienten Anreiz zu Investitionen und stellt sicher, dass im Wettbewerb die innovativsten Lösungen erarbeitet werden.

#### **Versorgungssicherheit, lokale Wertschöpfung, Wettbewerbsfähigkeit**

Entscheidend für die Wirtschaft ist eine intelligente, und gesicherte Versorgung zu transparenten und planbaren Preisen. Zudem müssen bei der Beurteilung einer neuen Energiestrategie neben den Implementierungskosten immer auch die wirtschaftlichen Chancen betrachtet werden. Anstrengungen im Bereich der Effizienz und der erneuerbaren Energien führen zu einer Verlagerung der Wertschöpfung vom Ausland ins Inland. Ein starker Heimmarkt dank inländischer Massnahmen erhöht die Wettbewerbsfähigkeit der Schweiz in den schnell wachsenden internationalen Cleantech Exportmärkten.

Insgesamt soll die Versorgungssicherheit steigen. Dabei sind die dezentrale Erzeugung und ein intelligentes Netz wichtige Säulen. Beides hilft, die Abhängigkeit von unsicheren Ressourcen zu reduzieren und die Versorgungsrisiken zu minimieren, welche durch wenige, grosse und zentrale Produzenten entstehen.

Gleichzeitig sollen energieintensive Branchen, die exportieren oder deren Produkte durch Importe konkurrenziert werden, in einer Übergangsphase mit Ausnahmeregelungen entlastet werden. Auf energieintensive Branchen fallen jedoch lediglich 2.5% der Arbeitsplätze und 5.2% des Schweizer Energieverbrauchs (vgl. Abschnitt 9.3). Das darf kein Vorwand sein, die Energiewende halbherzig umzusetzen.

#### **Qualität der Energie als wichtiges Entscheidungskriterium für den Standort Schweiz**

Es kann nicht Ziel einer Energiestrategie sein, möglichst viel und möglichst billige Energie bereitzustellen – vor allem nicht für den Qualitätsstandort Schweiz. Vielmehr ist neben dem Preis die Qualität der Energie als entscheidendes Kriterium einzubeziehen. Qualitativ hochstehende Energie ist frei von Emissionen, risikoarm und lokal verfügbar. Sie erlaubt es, Produkte und Dienstleistungen mit geringem ökologischem Fussabdruck bereitzustellen. swisscleantech ist überzeugt, dass dies ein immer wichtiger werdender Wettbewerbsfaktor ist. Eine Preisgestaltung, die die externen Kosten miteinbezieht, bildet diesen Qualitätsaspekt ab und sorgt dafür, dass qualitativ hochstehende Energieformen auf dem Markt einen Vorteil haben.

### **Glaubwürdigkeit der Schweiz als Cleantech Vorreiterin**

Die Schweiz ist weltweit eines der wettbewerbsstärksten, innovativsten und reichsten Länder. Gleichzeitig ist sie aber auch ein Hochpreisland mit einem kleinen Heimmarkt. Um im internationalen Wettbewerb kurz- und langfristig zu bestehen, muss sich die Schweizer Wirtschaft von der globalen Konkurrenz durch Innovation abheben. Wie auch im Cleantech Masterplan des Bundes<sup>3</sup> dargelegt, stellt der Bereich Ressourceneffizienz ein sehr attraktives Innovationsfeld dar. Die wirtschaftliche Positionierung der Schweiz als Cleantech Vorreiterin muss daher bei der Energiestrategie im Vordergrund stehen. Die Schweiz ist in einer exzellenten Position, eine Vorreiterrolle auch in der Energiefrage wahrzunehmen. Eine Energiepolitik mit Fokus auf Effizienz, erneuerbare Energien und intelligente Netze unterstützt diese Stossrichtung. Sie passt zu einer modernen, sauberen und sicheren Schweiz.

### **Ausrichtung an den Klimazielen**

Die Energiepolitik hat sich an den Klimazielen auszurichten – und nicht umgekehrt. Hier dürfen keine Kompromisse gemacht werden – auch aus Risikoüberlegungen. Die jüngsten wissenschaftlichen Erkenntnisse lassen keinen Zweifel mehr offen, dass dringender Handlungsbedarf auf nationaler wie internationaler Ebene besteht. Die Resultate des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) legen folgenden Schluss nahe: Soll die wichtige 2-Grad Grenze bei der Globalen Klimaerwärmung mit genügend hoher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden, müssen die Industrieländer bis 2020 eine CO<sub>2</sub>-Reduktion von minus 25 bis minus 40 Prozent<sup>4</sup> im Vergleich zu 1990 erreichen. Der New Climate Economy Report (2014)<sup>5</sup> belegt, dass es billiger ist, heute zu handeln, als Massnahmen auf morgen zu vertagen. Zudem zeigt er auf, dass sich Wirtschaftswachstum und Klimaschutz nicht ausschliessen, sondern Hand in Hand gehen.

Die vom WWF Schweiz und von swisscleantech angestossene Klimakampagne «WE TELL YOU: Klima schützen lohnt sich» fordert deshalb eine Erhöhung des Schweizer CO<sub>2</sub>-Reduktionsziels 2020 auf minus 40% gegenüber 1990 sowie eine Reduktion von minus 60% bis 2030. Dabei werden jeweils 15% im Ausland reduziert. Zudem soll sich die Schweiz auf internationaler Ebene aktiv einbringen und sich für die Einführung einer internationalen, differenzierten CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe einsetzen. Ein ambitioniertes Klimaziel lässt sich nur erreichen, wenn die fossilen Energien, die 70% des gesamten CO<sub>2</sub>-Ausstosses verursachen<sup>6</sup>, über Lenkungsabgaben verteuert werden. Damit gibt das Klimaziel entscheidende Marktpulse für die Steigerung der Energieeffizienz.

<sup>3</sup> [www.cleantech.admin.ch/cleantech/index.html?lang=de](http://www.cleantech.admin.ch/cleantech/index.html?lang=de)

<sup>4</sup> [www.dievolkswirtschaft.ch/editions/200912/Bucher.html](http://www.dievolkswirtschaft.ch/editions/200912/Bucher.html)

<sup>5</sup> New Climate Economy: Better growth, better climate (2014) – Nachfolgepublikation des «Stern Report»: The economics of climate change (2006)

<sup>6</sup> Bundesamt für Umwelt (2012), CO<sub>2</sub>-Statistik [www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de](http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de)

### Die fünf Hauptziele der Cleantech Energiestrategie

- 1. Wahre Versorgungssicherheit durch eine Reduktion der nuklearen, geopolitischen und preislichen Risiken und eine Erhöhung des Eigenversorgungsgrads bei der gesamten Energie auf mindestens 70% bis 2050.*
- 2. Systematische Stärkung der Schweizer Wettbewerbsfähigkeit durch Innovationsimpulse und First-Mover-Vorteile.*
- 3. Durchführung aller wirtschaftlich sinnvollen Effizienzmassnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs, ohne Einschränkung der Lebensqualität.*
- 4. 100% erneuerbare Energie für die Stromversorgung bis 2050 (inkl. Importe) ohne Beeinträchtigung der Biodiversität und unter Berücksichtigung des Landschaftsschutzes sowie sozialer Faktoren.*
- 5. Reduktion des Ausstosses von allen Treibhausgasen im Inland auf maximal 1 Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Kopf im Jahr 2050. Dies entspricht einer Senkung der Schweizer Treibhausgase mit Massnahmen im Inland um mindestens 90% gegenüber 1990. Als Zwischenziele sollen die CO<sub>2</sub>-Emissionen im Inland bis 2020 um mindestens 25% und bis 2030 um mindestens 45% reduziert werden.<sup>7</sup>*

<sup>7</sup> Zudem soll die Schweiz bis 2020 und 2030 je 15% durch Massnahmen im Ausland reduzieren.

## 4. STRATEGIE: DIE VIER NEUEN SÄULEN

Erst durch die Implementierung von Massnahmen in verschiedenen Bereichen der Politik wird die Cleantech Energiestrategie zum Erfolg. So ist zum Beispiel die Energieversorgung mit erneuerbaren Energien auf ausreichende Speicherkapazitäten und ein intelligentes Netz angewiesen. Die Montage der Solarzellen erfordert das Fachwissen der Handwerker. Für die Entwicklung der Geothermie ist eine intensivierete Forschung notwendig und es müssen Pilotanlagen gebaut werden. Als Grundlage der Massnahmenstrategie schlägt swisscleantech eine Neudefinition der vier Säulen der Schweizer Energiepolitik vor.

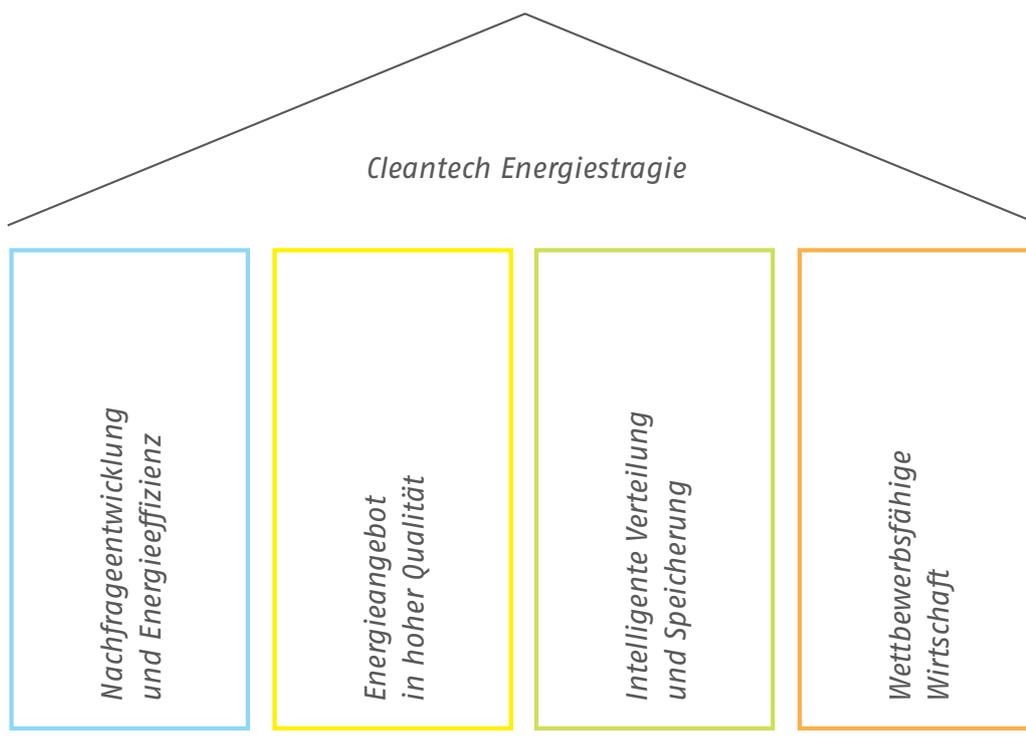


Abbildung 2  
Die 4 neuen Säulen der Cleantech Energiestrategie

### Nachfrageentwicklung und Energieeffizienz

Die Steigerung der Energieeffizienz ist eine Voraussetzung für die Entkoppelung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch. Zudem trägt sie zur Verminderung der Abhängigkeit vom Ausland bei. Sämtliche wirtschaftlichen Potenziale zur Energieeffizienz müssen konsequent genutzt werden. Haupttreiber für die Umsetzung ist der Preis der Energie. Dieser muss die wahren Kosten abbilden. In Bereichen, in denen steigende Kosten zu wenig wirken, kommen progressiv verschärfte Grenzwerte und Standards zur Anwendung.

### Energieangebot in hoher Qualität

Sämtliche Quellen für nutzbare Energien sollen zum Einsatz kommen, vorwiegend jedoch erneuerbare Quellen. Dabei ist entscheidend, dass alle Quellen ihre vollen Kosten tragen. Dazu gehören auch alle externen Kosten – von den Klimakosten über die Luftverschmutzung bis zur Beeinträchtigung der Biodiversität. Da die fossilen Brennstoffe massgeblich für den Treibhauseffekt verantwortlich sind, gilt es, die Nachfrage durch Massnahmen wie die CO<sub>2</sub>-Abgabe zu lenken und schrittweise zu reduzieren.

Genauso gilt es, die Risiken für unbeteiligte Dritte – wie sie zum Beispiel Kernkraftwerke und Staudämme darstellen – adäquat abzugelten.

Ein Energieangebot von hoher Qualität zeichnet sich zudem durch seine hohe und risikolose Verfügbarkeit aus. Zwar ist Strom aus Wasser-, Wind- und Sonnenkraftwerken saisonalen und tageszeitlichen Schwankungen unterworfen, doch die langfristige Verfügbarkeit dieser Energiequellen ist garantiert. Ganz anders bei den fossilen und nuklearen Energiequellen. Um sie wird seit eh und je Krieg geführt. Der grösste Anteil der verwendeten Energieträger dieser Art stammt aus politisch instabilen Regionen, ihr Transport ist logistisch unsicher und erzeugt unnötige Risiken für die Umwelt.

Von Bedeutung ist auch der Schutz der Landschaft. Im Zentrum steht dabei für swisscleantech weniger die subjektive Wahrnehmung, da diese einem kulturellen Wandel unterworfen ist. Vielmehr geht es darum, die Qualität der Landschaft als Lebensgrundlage zu schützen, zu unterhalten und störende Einflüsse<sup>8</sup> zu minimieren.

Mit Ausnahme der tiefen Geothermie (Einsatzbereitschaft erst ab ca. 2030 erwartet) werden in unseren Berechnungen nur Potenziale und Technologien in Betracht gezogen, die heute bereits zur Verfügung stehen. Der Fokus liegt auf der Qualität, auch wenn dies insgesamt zu

ca. 30% höheren Stromkosten führt. Dieses Plus wird durch Vorteile wie höhere Wertschöpfung im Inland, geringere CO<sub>2</sub>-Belastung, geringere Kosten dank Energieeinsparungen, höherer Eigenversorgungsgrad und bessere Cleantech Positionierung mehr als kompensiert.

### Intelligente Verteilung und Speicherung

Aufgrund der Zunahme von dezentralen Produktionseinheiten aus erneuerbaren Quellen und der Dynamisierung des Stromimports kommt dem Netzausbau eine grosse Bedeutung zu. Zentrale Elemente dabei sind intelligente Netze, die gute Information über Verbrauch und Angebot zur Verfügung stellen und durch gezieltes und rechtzeitiges Zu- und Abschalten von Produzenten wie auch Verbrauchern das Netz stabilisieren. Ausserdem spielt die Anbindung an Europa eine grosse Rolle. Der Bau eines Transeuropäischen Hochspannungs-Gleichstromübertragungs-Netzes (HGÜ) und der Anschluss daran werden für die Schweiz von grosser Bedeutung sein. Will die Schweiz die daraus entstehenden Chancen nutzen, spielen neben unseren Speicher- und Pumpspeicherwerken dezentrale Speicher wie Batteriespeicher eine wichtige Rolle.

Netze und Speicher unterstützen die verlässliche Bereitstellung von Strom, reduzieren die Kosten der erneuerbaren Energie und bieten neue Möglichkeiten für den Stromhandel. Dabei wird insbesondere die Speicherung von Strom für Stunden bis Tage und die Verschiebung von Lasten um Stunden eine wichtige Rolle spielen. Die Bewirtschaftung der Speicherseen muss so optimiert werden, dass überschüssiger Strom aus erneuerbaren Energien effizient genutzt werden kann. Die optimale Vernetzung von Speichern und Netzen ermöglichen auch den saisonalen Ausgleich. Die Schweiz kann hier auf ihre Stärken und vorhandene Infrastrukturen zurückgreifen, muss diese aber zielgerichtet weiter ausbauen. Für die dazu notwendigen Investitionen braucht es die richtigen Rahmenbedingungen.

### Wettbewerbsfähige Wirtschaft

Eine Energiestrategie darf den Fokus nicht nur auf die Energiekosten legen; genauso zentral ist die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wirtschaft. Energieeffiziente Produkte und Anlagen die zur Gewinnung von erneuerbaren Energien beitragen, stellen einen boomenden internationalen Wachstumsmarkt dar. An diesen Chancen soll die Schweizer Industrie teilhaben und sich als Marktführerin etablieren können. Die Schweiz soll im Inland vorantreiben, was sie im Ausland verkaufen will, und so kontinuierlich in relevanten Bereichen Wissen und Erfahrung generieren.

<sup>8</sup> Zum Beispiel Spiegelungen bei PV-Anlagen, Lärmimmissionen von Windturbinen etc.

## 5. DAS CLEANTECH ENERGIEMODELL

*Um die Energiediskussion zu versachlichen und gleichzeitig die Umsetzung einer zukunftsfähigeren, technisch machbaren und wirtschaftsfreundlichen Energiestrategie einzuleiten, hat swisscleantech 2011 damit begonnen, ein Energiemodell aufzubauen. Dessen Detaillierungsgrad wurde schrittweise erhöht. Der ihm zugrunde liegende Kalkulationsraster wurde im Juli 2012 hinsichtlich seiner arithmetischen Funktionalität einer Due-Diligence-Prüfung durch Ernst & Young unterzogen.*

*Bei diesem Energiemodell handelt es sich um einen hochaggregierten Szenariorahmen, der Akteure wie Wirtschaftsvertreter oder Politiker in der Festlegung von Strategie, Zielen und Massnahmen unterstützen kann. Mit der Hilfe des Modells lassen sich die Auswirkungen von technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen auf Energieverbrauch und -bereitstellung bis ins Jahr 2050 schnell und einfach darstellen.*

*Das Modell verknüpft dazu über 100 Parameter. Von diesen können 50 Hauptparameter dynamisch verändert werden, um unterschiedliche Entwicklungen aufzuzeigen und zu vergleichen. Solche veränderbare Grössen sind etwa die Potenziale der Energieeffizienz oder der einzelnen erneuerbaren Energien.*

*swisscleantech hat verschiedene Szenarien durchgerechnet und dabei unterschiedliche Schwerpunkte gelegt. In einigen Szenarien wurde der Fokus stärker auf die Effizienz, in anderen stärker auf die erneuerbaren Energien gelegt. Bedingung ist, dass die auf Seite 10 beschriebenen Ziele der Cleantech Energiestrategie eingehalten werden. Das im Folgenden präsentierte Basisszenario stellt einen ausgewogenen Mix von Effizienzmassnahmen und Kapazitätsausbau bei den erneuerbaren Energien dar. Es ist aus Sicht von swisscleantech ein wirtschaftlich attraktiver Weg.*

*Die Parameter für dieses Szenario wurden im Dialog mit Mitgliederfirmen und Experten im Rahmen der Diskussionen in den swisscleantech Fokusgruppen abgeschätzt und mit bestehenden Studien verglichen.*

*Ändern sich die Rahmenbedingungen – beispielsweise mit der frühzeitigen Schliessung eines bestimmten Grosskraftwerks –, können und müssen die hier dargelegten Annahmen geändert werden, um wiederum ein in sich kohärentes und finanzierbares Szenario darzustellen. Wir setzen allerdings voraus, dass auf europäischer Stufe die notwendige Netzinfrastruktur entsteht und dass der Anschluss der Schweiz gewährleistet ist (siehe auch Kapitel 8.1).*

*Die vorliegende Strategie rechnet alle in der Schweiz anfallenden Emissionen sowie die Emissionen von gekauftem Strom und gekaufter Fernwärme mit ein (Scope 2 gemäss Greenhouse Gas-Protokoll)<sup>9</sup>. Die sogenannte graue Energie, die in Form von produzierten Gütern und ihrer Transporte in die Schweiz importiert wird, ist nicht berücksichtigt. Langfristig ist dies aus klimapolitischer Sicht keine Lösung, das Vorgehen entspricht aber der aktuellen internationalen Klimapolitik.*

## 6. NACHFRAGEENTWICKLUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ

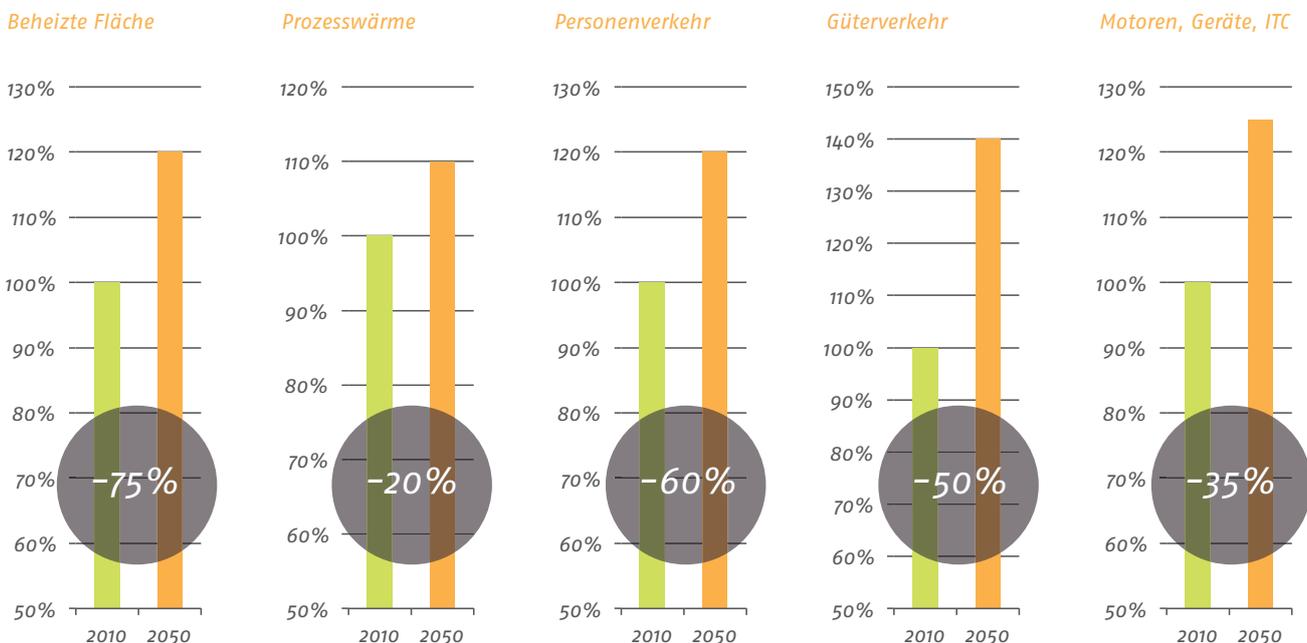
Gesparte Energie ist oft die billigste Energie. Weniger Energieverbrauch bedeutet auch weniger Abhängigkeit sowie mehr Wertschöpfung durch die Entwicklung und Anwendung von neuen Technologien. Ein geringerer Energieverbrauch ist jedoch nicht primär durch den Verzicht auf Energie-Dienstleistungen zu erzielen, sondern durch die qualitative Verbesserung der Bereitstellung dieser Dienstleistungen (Effizienz).

Für die Energie- und Klimapolitik ist entscheidend, wie gross die negativen Nebenwirkungen der verwendeten **Primärenergien** wie Heizöl, Gas, Benzin oder Strom sind. Für die Wohlfahrt ist das Angebot an **energieverbrauchenden Dienstleistungen entscheidend, welches durch die eingesetzte Energie bereitgestellt werden kann**. Beispiele für solche Dienstleistungen sind die Kühlung und Beheizung von Wohn- oder Büroflächen, die Mobilität in Personenkilometern bzw. Tonnenkilometern oder der Betrieb von Geräten.

Es wurden deshalb pro Dienstleistungskategorie die erwartete Bedarfszunahme sowie das wirtschaftliche und technisch mögliche Effizienzpotenzial bestimmt (vgl. Abbildung 3 und Tabelle 1). Die Umsetzung des vorhandenen Effizienzpotenzials führt insgesamt, trotz der steigenden Nachfrage nach Dienstleistungen, zu grossen **Einsparungen im Gesamtenergieverbrauch**. Zusätzlich kommt es zu Verlagerungen von ineffizienten Technologien mit schlechten gesamtenergetischen Wirkungsgraden (zum Beispiel Ölheizungen, elektrische Boiler oder elektrische Heizungen) zu effizienteren Systemen wie Wärmepumpen, Solarthermie oder Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen. Dies wiederum führt zu einer starken Reduktion des Verbrauchs an fossilen Energien, jedoch auch zu einem **Anstieg des Strombedarfs**. Die Höhe dieses Anstiegs hängt massgeblich davon ab, wie rasch energiesparende Massnahmen im Gebäudebereich (Standards bei Neubauten, Sanierungsraten, Einsatz von Wärmepumpen etc.) umgesetzt werden und wie sich die Elektromobilität entwickelt.

**Abbildung 3**  
Energienachfrage: Dienstleistungen versus Effizienzpotenzial pro Dienstleistungseinheit (gerundete/konsolidierte Werte)

Die Säulen zeigen pro Energiedienstleistung den Anstieg des Bedarfs nach der Dienstleistung bis 2050 (z. B. beheizte Fläche) unter Berücksichtigung der geschätzten Effizienzpotenziale (Prozentzahl im Bubble).



Markante Innovationen sind sowohl im Gebäude- als auch im Mobilitätsbereich möglich. Da diese Innovationen gewichtige Vorteile bringen, rechnet swisscleantech mit einer raschen Verbreitung dieser Technologien. swisscleantech geht daher von einem Anstieg des Strombedarfs von heute ca. 60 TWh auf ca. 70 TWh bis 2050 aus.

Die Nachfrageentwicklung ist stark mit der Bevölkerungsentwicklung verknüpft. Als Basis wird ein Bevölkerungswachstum auf 9.0 Mio. Einwohner bis ins Jahr 2050 angenommen. Dies entspricht dem mittleren Szenario der Prognosen des BFS (2014), welches auch vom BFE verwendet wird. Das Basisjahr für die Darstellung ist das Jahr 2010. Eine andere Bevölkerungsentwicklung lässt sich im Energiemodell durch die Auswahl eines anderen Datensets sehr einfach darstellen.

Das Wirtschaftswachstum wird analog einem «Business-as-usual-Szenario» mit einer durchschnittlichen jährlichen Zuwachsrate von 1.2% bis 2050 (Seco 2011) antizipiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die wichtigsten Parameter der Bedarfsentwicklung und der eingerechneten Effizienzpotenzialen auf.

Wenn die Effizienz der Produkte und Dienstleistungen steigen, kann dies zu einem unerwünschten Nebeneffekt, dem Rebound-Effekt führen. Die Gefahr besteht, dass eine Effizienzsteigerung nicht Energie einspart, sondern zu erhöhter Nachfrage führt. Um diesen Effekt zu verhindern, müssen die Preise für nicht erneuerbare Ressourcen mittels Lenkungsmaßnahmen kontinuierlich erhöht und Massnahmen zur Nachfrageveränderung und zum Ersatz der nicht erneuerbaren Ressourcen ergriffen werden.

Tabelle 1

Hauptparameter der Bedarfsentwicklung und der Effizienzpotenziale pro Dienstleistung

Entwicklung 2010 bis 2050

BEHEIZUNG	<b>Flächenwachstum</b> Die beheizte Fläche wird bis 2050 weiter wachsen, allerdings wird sich das Flächenwachstum von 5 m <sup>2</sup> pro Person und Jahrzehnt verlangsamen, sodass eine Zunahme der beheizten Fläche von insgesamt 20% resultiert. Dieses Flächenwachstum soll vor allem in den bereits besiedelten Gebieten durch eine gezielte Verdichtung erreicht werden.	+ 20%
	<b>Heizenergie pro Gebäudefläche</b> Neue Gebäude werden ab 2020 grösstenteils Nullenergiehäuser sein, der bestehende Gebäudebestand wird schrittweise modernisiert. Die Rate der energetischen Sanierungen beträgt 2.5%. Eine wichtige Rolle spielen optimale Wärmedämmungen. Der Heizenergieverbrauch kann im Durchschnitt aller Gebäude um 60% reduziert werden. Für architektonisch wertvolle und geschützte Gebäude gelten spezielle Regeln (vgl. unten).	- 60%
	<b>Wärmeerzeugung</b> Die meisten Gebäude werden in Zukunft mit Wärmepumpen beheizt. 2050 werden diese im Mittel eine Jahresarbeitszahl von 5 aufweisen. Dies führt zu einer Reduktion der benötigten hochwertigen Energie um 80%.	- 80%
	<b>Verdichtete Stadtkerne und architektonisch wertvolle Gebäude</b> Separat behandelt werden müssen die Stadtzentren, die eine grosse Besiedlungsdichte aufweisen. Diese Areale können kaum mit Wärmepumpen beheizt werden. Die vorherrschende Bausubstanz lässt sich oft nicht umfassend sanieren, ohne dass der architektonische Ausdruck zerstört wird. Mittels Dämmung ist im Schnitt eine Reduktion des Heizwärmebedarfs von 35% möglich. Ziel ist es, diese Gebäude über Wärmeverbunde mit Abwärme zu beheizen. Übrig bleibt eine geringe Anzahl von Gebäuden, die nicht an ein Fernwärmenetz angeschlossen werden können. Diese sollen in Zukunft mit der Abwärme von wärmegeführten Blockheizkraftwerken (BHKW) beheizt werden.	- 30% bis - 35%
	<b>Verbrauchsreduktion Beheizung total</b> Für die Realisierung dieses Potenzials ist die Raumplanung von entscheidender Bedeutung. Die bestehenden Siedlungsflächen müssen optimiert werden, die Raumplanung muss dafür sorgen, dass dünn besiedelte Gebiete verdichtet und wenig taugliche Gebäude durch zukunftsfähige Neubauten ersetzt werden. Eine zielgerichtete Raumplanung beschränkt nicht nur den Landverbrauch, sie ist auch für die Verkehrsentwicklung entscheidend. Sie ist umso wichtiger, je mehr die Bevölkerung in den nächsten Jahrzehnten zunimmt.	- 75%
	PERSONEN- VERKEHR (MIV)	<b>Allgemeine Mobilitätszunahme</b> In Personenkilometern nimmt die Mobilität bis 2050 um rund 20% zu. Damit steigt sie leicht überproportional zur Bevölkerungsentwicklung.
<b>Öffentlicher Verkehr</b> Dieser wächst überproportional. 20% des heutigen motorisierten Individualverkehrs (MIV) wird in Zukunft zusätzlich über den öffentlichen Verkehr abgewickelt. Dies ergibt im Schnitt gegenüber heute eine Energieeinsparung beim MIV von 80%.		- 80%
<b>Virtueller Verkehr und Langsamverkehr</b> Durch eine gezielte Förderung können damit 15% des heutigen MIV ersetzt werden. Beide Mobilitätsformen benötigen nur 1 bis 2% des MIV-Energiebedarfs.		- 98%
<b>Elektrofahrzeuge</b> Fahrzeuge mit Elektroantrieben spielen in der Mobilität der Zukunft eine grosse Rolle. 40% aller Fahrzeuge werden 2050 elektrisch oder weitgehend elektrisch betrieben werden. Sie haben einen dreimal tieferen Energieverbrauch pro Kilometer als herkömmliche Fahrzeuge.		- 66%
<b>Personenfahrzeuge mit konventionellen Verbrennungsmotoren</b> Die restlichen 25% des MIV werden durch effizientere Personenfahrzeuge bestritten (leichter, mit besseren Verbrennungsmotoren etc.). Auch sie weisen einen deutlich reduzierten Energieverbrauch auf.		- 50%
<b>Verbrauchsreduktion Personenverkehr (MIV) total</b>		- 60%

GÜTERVERKEHR	Allgemeine Mobilitätszunahme Der Güterverkehr nimmt in Tonnenkilometern bis 2050 um rund 40% zu.		+ 40%
	Schienenverkehr Der Schienenverkehr wächst überproportional. 22% des heutigen Güterverkehrs wird in Zukunft zusätzlich auf die Schiene verlagert. Dies ergibt im Schnitt gegenüber heute eine Energieeinsparung von 80%.		- 80%
	Feinverteilung mit Elektrofahrzeugen Elektrofahrzeuge übernehmen 15% des motorisierten Güterverkehrs. Damit ist eine Reduktion des Energieverbrauchs pro Kilometer um einen Faktor 2 möglich.		- 50%
	Güterfahrzeuge (Lastwagen) mit konventionellen Verbrennungsmotoren Konventionelle Lastwagen bestreiten die restlichen 63% des Güterverkehrs. Auch sie weisen dank Verbesserung der Verbrennungsmotoren und der Konstruktion einen deutlich reduzierten Verbrauch auf.		- 30%
	Verbrauchsreduktion Güterverkehr total		- 45%
PROZESS INDUSTRIE  (Wärmeanwendungen in der Industrie)	Zunahme Nach wie vor soll ein moderates Wachstum der Produktion möglich sein. Es ist allerdings nicht davon auszugehen, dass eine Reindustrialisierung mit energieintensiven Produktionsprozessen stattfindet.		+ 10%
	Effizienzsteigerung Eine konsequente Optimierung der Produktionsanlagen ermöglicht eine Reduktion um weitere 20%. Abwärmenutzung, bessere Wärmedämmungen und Prozessumstellungen stehen im Vordergrund.		- 20%
STROMVERBRAUCH MOTOREN, GERÄTE, ICT  (Industrie und Private)	Zunahme Auch bei den stromverbrauchenden Geräten ist ein Wachstum des Outputs vorgesehen. Die von den Geräten erbrachten Dienstleistungen (zum Beispiel Kraft, Kühlung, Information etc.) werden um einen Viertel zunehmen – leicht überproportional zur Bevölkerungsentwicklung.		+ 25%
	Effizienzsteigerung Gleichzeitig werden die Geräte effizienter. Wichtige Stossrichtungen sind die Reduktion des Betriebs ohne Nutzen durch bessere Steuerungen, Motoren mit Frequenzumformer sowie die fortschreitende Miniaturisierung bei der ICT.		- 35%

Wachstum der nachgefragten Dienstleistungen

Effizienzgewinn beim Bereitstellen der Dienstleistung im Vergleich zu heute. Erläuterung: Nimmt zum Beispiel die beheizte Fläche in der Schweiz zu, steigt die nachgefragte Dienstleistung. Werden die Gebäude aber besser gedämmt, wird weniger Energie benötigt, um sie zu beheizen. Dies ist ein Effizienzgewinn.

10 Der Heizenergieverbrauch ist definiert durch den Verlust an Wärmeenergie eines Gebäudes und macht keine Aussage darüber, wie diese zur Verfügung gestellt wird.  
 11 Zum Beispiel Strom, Öl oder Gas. Werden diese Energieträger verbrannt, wird ihr Energiegehalt vollständig in Wärme umgewandelt. Bei einer Wärmepumpe mit einer Jahresarbeitszahl von 5 dagegen ist für 100% Wärme nur ein Anteil von 20% Strom notwendig werden.  
 12 Oft werden Geräte, Anlagen und Räume im Betriebszustand belassen, obwohl sie im Moment nicht in Gebrauch sind. Dies nennt man Betrieb ohne Nutzen. Bei Räumen kann zu Beispiel die Temperatur gesenkt werden und es kann die Luftumwälzung reduziert werden, wenn die Räume nicht benutzt werden.

## 7. ENERGIEANGEBOT IN HOHER QUALITÄT

Wie in Kapitel 2 und 3 erläutert, strebt die Cleantech Energiestrategie eine qualitativ hochstehende Energieversorgung an. Dies bedeutet: Ersatz von fossilen Brenn- und Treibstoffen durch Strom bei gleichzeitigem Ausstieg aus der Kernenergie. Die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen ist deshalb ein zentrales Element der zukünftigen Energieversorgung.

Damit die Umstellung der Versorgungslandschaft gelingt, gilt es, für jede Energieform die optimale Art ihrer Verwendung zu bestimmen. Es geht darum, die Verluste bei der Energieumwandlung gering zu halten und jede Energieform da zu verwenden, wo sie ohne Wandlungsverluste eingesetzt werden kann.<sup>13</sup> Das entscheidende Kriterium ist dabei die Wertigkeit der Energie. Sie zeigt auf, welches das optimale Anwendungsspektrum für die verschiedenen Energiequellen und Energieträger ist. Die wichtigsten Zuordnungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Die spezifische Anwendung muss in einem weiteren Schritt lokal und regional abgestimmt und optimiert werden.

Im Folgenden wird dargestellt:

- **Wie der benötigte Strom in Zukunft bereitgestellt werden soll.**
- **Woher die benötigte Wärme stammt.**
- **Inwiefern noch fossile Energie gebraucht wird.**

### 7.1 STROMPRODUKTION

Eine nachhaltige Stromproduktion fordert zusätzliche Produktionskapazitäten – zu einem grossen Teil auch in der Schweiz. Die Wasserkraft wird auch in Zukunft die wichtigste Produktionstechnologie bleiben. Der Zuwachs wird aber hauptsächlich von Solarenergie und Windkraft getragen.

Wir gehen davon aus dass die kostendeckende Einspeisevergütung (KEV) in einer Übergangsphase das richtige Mittel ist, um die gesetzten Ausbauziele zu erreichen. Ab 2020 wird die KEV schrittweise in ein Lenkungssystem überführt werden. Über die ganze Periode soll ein vernünftiges organisches Wachstum der beteiligten Branchen sichergestellt werden. Mehrjährige Phasen in denen die betroffenen Firmen über 50% wachsen müssten, um die Produktionsausweitung realisieren zu können ist für das Erreichen der Ziele nicht notwendig und sollten aus Qualitätsgründen vermieden werden. Unter Einbezug der Vollkosten und dank der Lern- und Skaleneffekte wird die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen im Markt sehr bald wettbewerbsfähig sein. Bedingung dafür ist allerdings, dass der Strommarkt in geeigneter Weise sowohl die externen Kosten als auch die Investitionskosten abdeckt (siehe Kapitel 8.3).

#### Wasserkraft

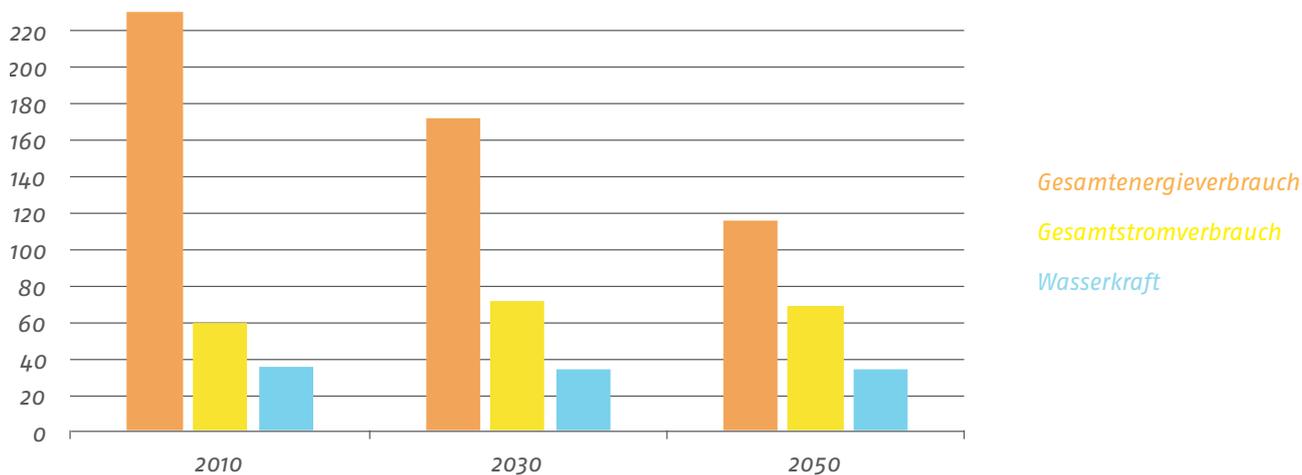
Die traditionell stärkste Quelle erneuerbarer Energie wird auch in Zukunft einen wichtigen Pfeiler der Schweizer Stromversorgung darstellen. Da der Erhaltung der Biodiversität ein grosser Stellenwert zukommen muss, ist das Ausbaupotenzial relativ gering. Relevantes Potenzial steckt in der Erneuerung und Erweiterung bestehender Kraftwerke, in Neuanlagen an ausgewählten Standorten und in geringerem Mass in Kleinwasserkraftwerken.

In einem erneuerbaren Stromsystem werden **Speicherseen und Pumpspeicherkraftwerke**<sup>14</sup> eine noch bedeutendere Rolle spielen, als sie dies heute schon tun. Pumpspeicher- und Speicherkraftwerke lassen sich mit nur kleinen Energieverlusten sehr effizient regeln. Zusammen mit

<sup>13</sup> So ist es zum Beispiel nur mit grossem Verlust möglich, aus Wärme Strom herzustellen, während eine Umwandlung von Strom in Wärme sehr einfach ist. Es ist deshalb wenig sinnvoll, Erdgas zu verbrennen, ohne gleichzeitig Strom zu gewinnen. Aber auch die Wertigkeit von Wärme unterscheidet sich je nach der Temperatur. So ergeben sich optimale Kaskaden in der Energienutzung.

<sup>14</sup> Speicherkraftwerke werden direkt durch zufließendes Wasser gefüllt, während in Pumpspeicherwerken zuerst Wasser von einem tieferen in ein höheres Becken gepumpt werden muss. Dieses Wasser kann später turbinieren («heruntergelassen») werden.

Abbildung 4  
Entwicklung Wasserkraft im Verlauf der Zeit leichtes Wachstum auf 33.4 TWh bis 2050  
vgl. Tabelle 5



schnell wirksamen Zwischenspeichern wie Batterien und/oder Hochleistungskondensatoren werden Speicher- und Pumpspeicher deshalb in der Zukunft helfen, eine nachhaltige und stabile Energieversorgung sicherzustellen. Dadurch ergeben sich attraktive Businessmodelle für Zeiten, in denen das Angebot an Strom aus Solar- und Windenergie vorübergehend gering ist.

Die Schweizer Wasserkraft spielt also sowohl bei der Erzeugung als auch bei der Speicherung eine kontinuierlich wichtige Rolle – im Inland sowie im umliegenden Ausland. Untersucht werden muss deshalb auch das Potenzial für weitere Pumpspeicherwerke. Mit dem fortschreitenden Gletscherschwund in den Alpen wird auch ein signifikantes Potenzial für Speicherseen entstehen. Das KWO-Projekt beim Trift-Gletscher<sup>15</sup> ist da richtungsweisend – in technischer Hinsicht genau sowie bezüglich Stakeholder- und Umweltmanagement. Um das Flexibilisierungspotenzial der Speicherseen voll ausschöpfen zu können, müssen neue und vorhandene Speicherseen mit entsprechenden **Ausleitspeichern und -kraftwerken** versehen werden. Diese erlauben eine dynamische und umweltverträgliche Betriebsweise.

Auch mit **Kleinwasserkraftwerken** lässt sich zusätzliche Energie gewinnen. Diese dürfen aber den Wert und die Funktionsfähigkeit der natürlichen Wasserläufe (inkl. Biodiversität, Landschaftsbild) nicht negativ beeinflussen. Das lässt sich gewährleisten durch sinnvolle Kompensationsprojekte oder durch neue Kraftwerkstypen mit besserer Durchgängigkeit. Insgesamt bleibt der Versorgungsbeitrag der Kleinwasserkraftwerke jedoch relativ gering. Was die Nutzung von Kleinwasserkraftwerken in den Alpen betrifft, ist swisscleantech skeptisch.

Ihre Produktionscharakteristik weist die falsche Saisonalität auf, da die Produktion im Winterhalbjahr wegen des Schnees nur gering ausfällt. Damit ist der Nutzen – verglichen mit dem Eingriff in den empfindlichen Alpenraum – nur klein. Bereits bei einer klimabedingten Temperaturerhöhung von unter 2 °C wird sich das Abflussregime der Flüsse verschieben: Die Abflussmengen werden im Winter zu- und im Sommer abnehmen. Diese Veränderungen wurden im Cleantech Energiemodell als Parameter miteinbezogen. Es wird angenommen, dass die Abflussmengen im Sommerhalbjahr um 10% abnehmen und im Winter um 10% zunehmen.<sup>16</sup>

**Aktuell** sind Wasserkraftwerke aufgrund der Überkapazitäten aus den thermischen Kraftwerken<sup>17</sup> in einer schwierigen Lage. Neue Kraftwerke und Erneuerungen der bestehenden lassen sich mit den derzeitigen Marktpreisen nicht finanzieren. Dies wird sich erst ändern, wenn die Stromgestehungspreise die echten Vollkosten abbilden (siehe Kapitel 8.3). **Eine vorübergehende Unterstützung der Wasserkraftwerke** durch Investitionsbeiträge für grosse Wasserkraftanlagen und den erweiterten Einbezug in die KEV ist daher richtig. Ebenso ist die Einführung einer Dreckstromabgabe seriös zu prüfen. Die Anpassung der Markt- und Fördermodelle sowie der Übergang vom Förder- zum Lenkungssystem werden und sollen dazu führen, dass sich diese Unterstützung sowie deren Mitnahmeeffekte in Grenzen halten. Einen Investitionsstopp bei der Wasserkraft und der damit verbundenen Systemdienstleistung gilt es zu vermeiden.

<sup>15</sup> Die Kraftwerke Oberhasli KWO planen beim schmelzenden Trift-Gletscher einen Stausee: [www.srf.ch/news/schweiz/neuer-stausee-soll-den-klimawandel-nutzen](http://www.srf.ch/news/schweiz/neuer-stausee-soll-den-klimawandel-nutzen)

<sup>16</sup> in Anlehnung an P. Hänggi, R. Weingartner, M. Balmer, Wasser Energie Luft, Heft 4 (2011), Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung in der Schweiz 2021–2050 – Hochrechnung

<sup>17</sup> insbesondere Steinkohle- und Braunkohlekraftwerke

Insgesamt geht swisscleantech von einer Zunahme der Produktion der Wasserkraftwerke um 5% bis 2050 aus. Die Entwicklung ist in Tabelle 5 auf Seite 33 ersichtlich. Berücksichtigt sind dabei Verluste aufgrund des Klimawandels wie auch Produktionssteigerungen dank verbesserter Effizienz und Neukapazitäten.

### Photovoltaik

Als Stromerzeugungstechnik mit sehr geringen negativen Einflüssen auf die lokale Umwelt liefert die Solarenergie einen wichtigen Beitrag zu einer nachhaltigen Energieversorgung. Wir nehmen an, dass die dominierende Technologie zur solaren Stromerzeugung die Photovoltaik (PV) sein wird.

Die erwartete Stromproduktion aus PV wird eine Fläche von rund 150 km<sup>2</sup> benötigen, was weniger als 30% der schweizerischen Gebäudefläche ausmacht (siehe Tabelle 2).<sup>18</sup> Die PV-Anlagen werden vorwiegend auf Dächern angebracht sein. Zunehmend sollen aber auch Fassaden zur Erzeugung von Strom genutzt werden. Fassadenanlagen weisen zwar eine etwas geringere Produktion auf, ermöglichen aber eine Produktion, die sowohl saisonal wie auch im Tagesverlauf besser verteilt ist.<sup>19</sup> Weiteres interessantes Potenzial bietet die Verkehrsinfrastruktur an, etwa entlang von Autobahnen und auf Parkplätzen, oder auf Lawinenschutz-Vorrichtungen. Wichtig bei solchen Anlagen ist eine gute Integration in die Umwelt, um störende Einflüsse zu verhindern. Generell gilt, dass in der Schweiz die Installation noch recht aufwendig ist. Hier bestehen erhebliche Skaleneffekte, insbesondere bei der Optimierung von Montagesystemen. Ziel ist es, dass PV-Anlagen in Zukunft von Bauherren wie auch von den Architekten und Planern als Standardelemente der Gebäudehülle betrachtet werden.

Da für die vorgesehenen Produktionsanlagen genügend überbaute und technisch genutzte Fläche zur Verfügung steht, sind Freiflächenanlagen nach Ansicht von swisscleantech nur in Ausnahmefällen sinnvoll. In der relativ dicht besiedelten Schweiz sollten Landwirtschaftsland und Erholungsraum im Vordergrund stehen. Einzelne Freiflächenanlagen mit besonderer Eignung<sup>20</sup>, vor allem in den Alpen, könnten jedoch zu einer Verbesserung des Angebots beitragen. Solche Anlagen können im Winter wie im Sommer annähernd gleich hohe Stromerträge aufweisen und damit das winterliche Angebot verbessern.

<sup>18</sup> Die Gebäudefläche dient hier als Vergleichsgrösse, weil man davon ausgehen kann, dass bis ins Jahr 2050 auch viele der heute ungeeigneten Dächerformen so optimiert werden, dass Solarenergie gewonnen werden kann.

<sup>19</sup> Ostorientierte Anlagen beginnen morgens früher zu produzieren, erreichen die höchste Produktion vor dem Mittag und werden bereits am frühen Nachmittag nicht mehr besonnt. Anlagen an Wänden weisen im Hochsommer eine geringere Produktion auf – genau dann könnte in Zukunft ein Überschuss bestehen.

<sup>20</sup> Optimale Neigung, Schnee- oder Wasserreflexion in den Bergen und an Seen, schlechte Qualität der verbrauchten Bodenfläche

Tabelle 2

<b>Gebäude- flächen heute<sup>21</sup></b>	Industrie- und Gewerbegebäude	88 km <sup>2</sup>
	Wohngebäude	224 km <sup>2</sup>
	Öffentliche Gebäude	31 km <sup>2</sup>
	Landwirtschaftliche Gebäude	93 km <sup>2</sup>
	Sonstige Gebäudeareale	52 km <sup>2</sup>
<b>Total Gebäudeflächen</b>	<b>488 km<sup>2</sup></b>	
<b>sonstige Siedlungs- flächen heute</b>	Strassen	673 km <sup>2</sup>
	Parkplätze	64 km <sup>2</sup>
	Befestigte Bahnflächen	611 km <sup>2</sup>
	Flugplätze	100 km <sup>2</sup>
	<b>Total sonstige befestigte Siedlungsflächen</b>	<b>1 448 km<sup>2</sup></b>
<b>Solar- anlagen</b>	Heute	0.7 km <sup>2</sup>
	2030	65 km <sup>2</sup>
	2050	145 km <sup>2</sup>

Oft ist die Ernte in den Bergen oberhalb der Nebelgrenze sogar besser als in der Sahara.<sup>22</sup>

Um der Solarindustrie ein Wachstum zu ermöglichen, der praktisch realisierbar ist und nicht zur Blasenbildung führt, wird angenommen dass das Wachstum der zugebauten Neuflächen pro Jahr um weniger als 45% zunimmt. Bis ins Jahr 2025 flacht das Wachstum des Flächenzubaus auf rund 1% pro Jahr ab und die installierende Solarenergiebranche erreicht ihr prognostiziertes Produktionspotenzial.

Ein Flächenzuwachs findet auch weiterhin statt. Erst nach 2050 halten sich Erneuerung und Demontage von alten Anlagen die Waage. Durch den technologischen Fortschritt wird die Solarstromproduktion jedoch trotzdem weiter ansteigen. Die Kosten der Produktion von Solarstrom werden im Jahr 2050 mit 0.1 Fr./kWh angenommen. In diesem Preis sind auch die Speicherkosten für eine kurzfristige, dezentrale Speicherung von 0.02 Fr./kWh enthalten.<sup>23</sup> Ein Blick hin zur Forschung zeigt, dass in Zukunft weiteres Kostensenkungspotenzial in der Modulherstellung, im Anlagenengineering und in der Installation vorhanden ist.

<sup>21</sup> BFS (2009), Arealstatistik 2004/2009

<sup>22</sup> Urs Muntwyler, Berner Fachhochschule (2013), Has Europe a need for solar plants in Africa?

<sup>23</sup> Hintergrundbericht zur Entwicklung der Photovoltaik: [www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA\\_CES\\_2012\\_Hintergrundbericht\\_PhotoVoltaik.pdf](http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/CES/SCA_CES_2012_Hintergrundbericht_PhotoVoltaik.pdf)

Abbildung 5  
 Entwicklung von Solarenergie im Verlauf der Zeit Kontinuierliches Wachstum auf 16.4 TWh bis 2050  
 vgl. Tabelle 5

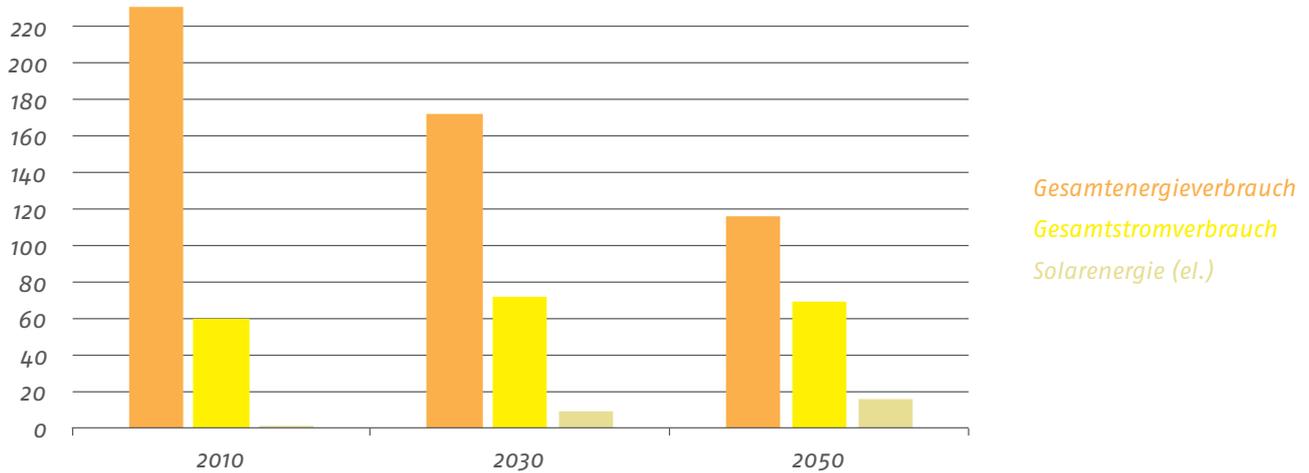


Tabelle 3  
 Kostensenkungspotenziale bei der Solarenergie

<b>TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG SI-ZELLEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Negativ leitende Solarzellenbasis (n-Typ) mit Wirkungsgraden von über 24%</i></li> <li>– <i>Silizium-Dünnschichtmodule mit höheren Wirkungsgraden als die bisherigen Dünnschichtmodule</i></li> </ul>
<b>NEUE MATERIALIEN</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Siebbedruckte PERC-Solarzellen</i></li> <li>– <i>Ultradünne Halbleitersolarzellen</i></li> <li>– <i>Organische Solarzellen</i></li> <li>– <i>Stapelsolarzellen mit Wirkungsgraden von über 40%</i></li> <li>– <i>Floatglas: dünneres Glas für Glas-Glas-Module statt Glas-Folien-Module</i></li> </ul>
<b>OPTIMIERUNG ANLAGENENGINEERING</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Sinkende Rohstoffpreise von Silizium dank neuen Produktionskapazitäten</i></li> <li>– <i>Ersatz von (teurem) Silber durch (günstigeres) Kupfer</i></li> <li>– <i>Sinkende Preise bei Wechselrichtern durch Markteinstieg von Asien</i></li> <li>– <i>Erhöhung der Modulleistung</i></li> <li>– <i>Längere Modullebensdauer</i></li> <li>– <i>Optimierte Fertigungsabläufe</i></li> <li>– <i>Tiefere Kosten für Glas dank neuer Technologien für Glashärtung</i></li> </ul>
<b>OPTIMIERUNG MONTAGESYSTEME</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Höhere Solarausnutzung um ca. 24% mit Montagesystemen zur Ost-West-Ausrichtung auf Flachdächern</i></li> <li>– <i>Zeiteinsparung durch Montage-Einrastsysteme auf Wohnhäusern sowie Montagesysteme mit wenigen Einzelteilen</i></li> <li>– <i>Günstige, leichte Unterkonstruktionen aus Fiberglas</i></li> </ul>
<b>DUAL USE: ERSATZ VON DACH- UND FASSADENSYSTEMEN DURCH STROMERZEUGENDE SYSTEME</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Ersatz von Dachziegeln und Eternitpaneelen auf Dächern und Fassaden durch PV-Fertigelemente</i></li> <li>– <i>Aufeinander abgestimmte Elemente zur einfachen Integration der PV-Komponenten</i></li> <li>– <i>Reduktion der Planungsleistung</i></li> </ul>
<b>DUAL USE: STROM- UND WÄRMEERZEUGUNG</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>Nutzung der Abwärme von PV-Anlagen zur Regeneration von Erdsonden und zur Warmwasserproduktion</i></li> </ul>

Da die Solarenergie neben der Wasserkraft zum zweiten, wichtigen Standbein der schweizerischen Stromversorgung werden soll, sind die Zubaukosten beträchtlich. Bei diesem Zubau fallen annähernd 50% der Projektkosten (Herstellung, Installation und Instandhaltung) in der Schweiz an, weshalb die PV auch wirtschaftlich relevant ist, insbesondere für das Gewerbe.

### Wind

Wind ist heute nach der Wasserkraft die bedeutendste Quelle erneuerbarer Energien. Sie liefert bereits 4%<sup>24</sup> des weltweiten Strombedarfs – mit hohen Wachstumsraten auf dem ganzen Globus. Wind ist eine attraktive Quelle für die Produktion von Strom mit geringen negativen Einflüssen auf die Umwelt und guter Verfügbarkeit, besonders wenn die Windenergie in ein grosses Verbundsystem integriert ist.

In der Schweiz ist bis heute erst ein geringer Teil des Potenzials realisiert. Dies hat nicht unwesentlich damit zu tun, dass die Akzeptanz von Windturbinen in der Schweiz noch gering ist. Zudem sind die Windverhältnisse in der Schweiz weniger günstig als in Ländern mit grossen Ebenen und/oder Meeranstoss. Trotzdem ist ein Potenzial zum Ausbau vorhanden, und es macht Sinn, die geeigneten Standorte zu nutzen.

Im Gegensatz zur Produktion aus Solaranlagen ist die Produktion aus Windkraftwerken an den meisten Standorten im Winter am grössten. Zwar stützten wir uns in unsern Berechnungen auch auf Importe im Winter ab, diese stehen jedoch – trotz der erwarteten Netzausbauten – nicht beliebig zur Verfügung. Die Windenergie stellt deshalb eine sinnvolle Ergänzung im Schweizer Produktionspark dar. Ein Verzicht auf ihre Förderung wäre trotz des bescheidenen Potenzials nicht zweckmässig.

Technisch kann Wind laut neueren Untersuchungen<sup>25</sup> mit 20 TWh einen nicht unerheblichen Beitrag zur Stromversorgung leisten. Unter Berücksichtigung des Landschafts- und Vogelschutzes geht swisscleantech davon aus, dass in der Schweiz rund 6 TWh Windstrom effektiv realisiert werden können. Geeignete Standorte finden sich fast ausschliesslich im Jura und in den Alpen.<sup>26</sup> Die Akzeptanz der Windenergie wird nur langsam kontinuierlich steigen und Einspracheverfahren werden die Entwicklung bremsen. Deshalb wird die Realisierung nur langsam vorangehen.

Ein grosses Potenzial besteht beim importierten Windstrom – vorausgesetzt, die nötigen Leitungen sind vorhanden. Das finanzielle Engagement von schweizerischen Energieversorgungsunternehmen im Ausland spielt deshalb eine wichtige Rolle, genauso wie die Integration der Schweiz in die europäische Netzplanung.

### Strom aus Wärmekraftkopplungen

Der Grossteil unserer Stromversorgung wird 2050 durch Wasserkraft, Solarenergie und Windkraft gedeckt. Ergänzt werden diese Technologien durch Anlagen auf der Basis von Wärmekraftkopplung (WKK), die mit verschiedenen Energieträgern betrieben werden. Alle WKK-Anlagen erzeugen relativ grosse Abwärmemengen, die genutzt werden sollten. Die Produktion von WKK-Anlagen lässt sich zwar besser planen als beispielsweise die von Windkraft- und Solaranlagen, aber schlechter als diejenige von Speicherseen. Sie sollten deshalb insbesondere im Winter betrieben werden. Dann wird das Stromangebot eher knapper sein – gleichzeitig ist dann auch der Wärmebedarf am grössten. Es ist dafür zu sorgen, dass die Anlagen im Winter über möglichst lange Zeit im optimalen Betriebszustand arbeiten können, da Anfahr- und Ausschaltprozesse die Kosten erhöhen und die Lebensdauer der Anlagen reduzieren. Als Energiequelle für WKK-Anlagen stehen Biomasse, Kehricht und Geothermie sowie, in der Übergangsphase, Erdgas zur Verfügung. Um diese ergänzenden Stromquellen optimal zu nutzen, muss der verwendete Energieträger insbesondere im Winter zur Verfügung stehen, er muss also lagerbar gemacht werden.<sup>27</sup>

### Stromimporte

Ein zentrales Ziel der Cleantech Energiestrategie ist es, die lokale Wertschöpfung zu erhöhen. Trotzdem ist eine vollständige Selbstversorgung mit Energie kein sinnvolles Ziel, da die Kosten des Zubaus mit steigendem Autarkiegrad stark zunehmen.

Wir antizipieren deshalb, dass die Stromimporte insbesondere im Winter weiter zunehmen werden. Gleichzeitig wird die Integration der Schweiz ins europäische Stromnetz voranschreiten – auch um grössere Importmengen zu ermöglichen. Stromimporte sollen dabei konsequent aus nachhaltigen und sauberen Quellen stammen – dies gilt es beim Preis, wie auch bei Kapazitätsüberlegungen einzubeziehen.

<sup>24</sup> [www.wwindea.org](http://www.wwindea.org)

<sup>25</sup> Suisse Eole und Meteotest, (2012)

[www.suisse-eole.ch/uploads/media/Facts-Neupotenzial-121126\\_01.pdf](http://www.suisse-eole.ch/uploads/media/Facts-Neupotenzial-121126_01.pdf)

<sup>26</sup> Bundesamt für Energie (2004, Update 2010), Konzept Windenergie Schweiz

<sup>27</sup> Dies ist bei Holz einfach zu bewerkstelligen und wird heute zum Teil auch schon beim Kehricht gemacht, der in Ballen gestapelt wird. Bei der Verwendung von feuchter Biomasse muss jedoch das entstehende Biogas möglichst ins Netz eingespielen werden. Wird Biogas direkt verstromt, was nur im Sommer möglich ist, kann ein grosser Teil der Abwärme nicht verwendet werden. Ausserdem steht der Biomassestrom dann in Konkurrenz zum günstigen Solarstrom.

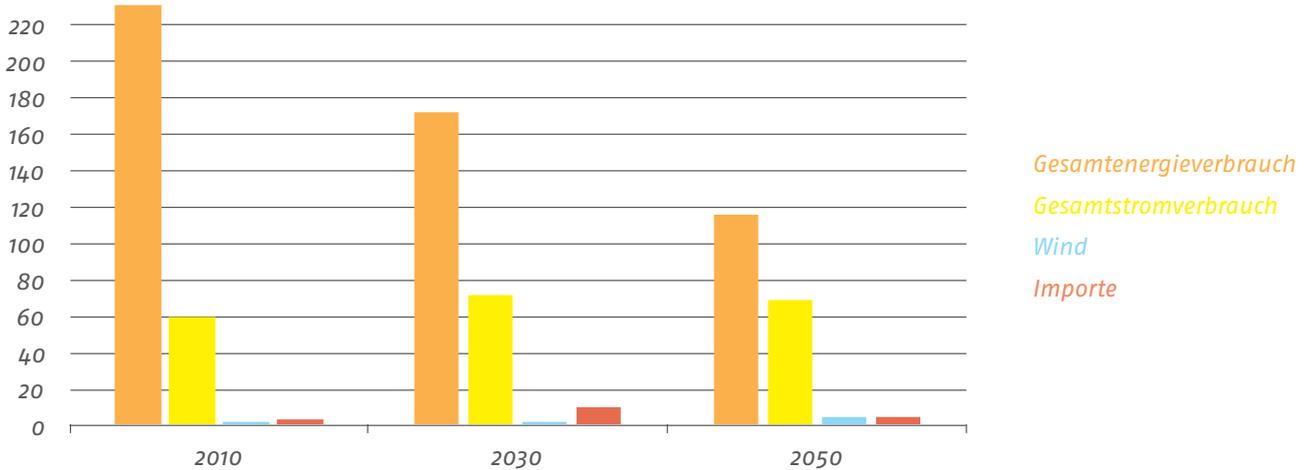
Der Ersatz von nuklearen oder fossilen Primärenergieträgern im Inland durch Strom aus Kohle- oder Gaskraftwerken ist aus Klimaschutz- und Wettbewerbsgründen nicht sinnvoll. Saubere Importe lassen sich durch geeignete Massnahmen wie z.B. eine Graustromabgabe sicherstellen.<sup>28</sup>

Beim Stromimport ist die saisonale und zeitliche Verfügbarkeit entscheidend. Die nahtlose Integration dieser Importe mit der Produktion aus den schweizerischen Speicher- und Pumpspeicherkraftwerken ist deshalb unerlässlich (vgl. Kapitel 8 und «Die Stromversorgung im Winter», Seite 38).

<sup>28</sup> Ecoplan (2013) [www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik\\_grundlagen/els/Ecoplan\\_2013\\_e.pdf](http://www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik_grundlagen/els/Ecoplan_2013_e.pdf); WTI (2014), [www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik\\_grundlagen/els/Differentiated\\_Taxation\\_e.pdf?lang=de&msg-id=50122](http://www.efv.admin.ch/e/downloads/finanzpolitik_grundlagen/els/Differentiated_Taxation_e.pdf?lang=de&msg-id=50122); WTI (2014), Implementing a Differentiated Electricity Tax through Renewable Energy Certificates

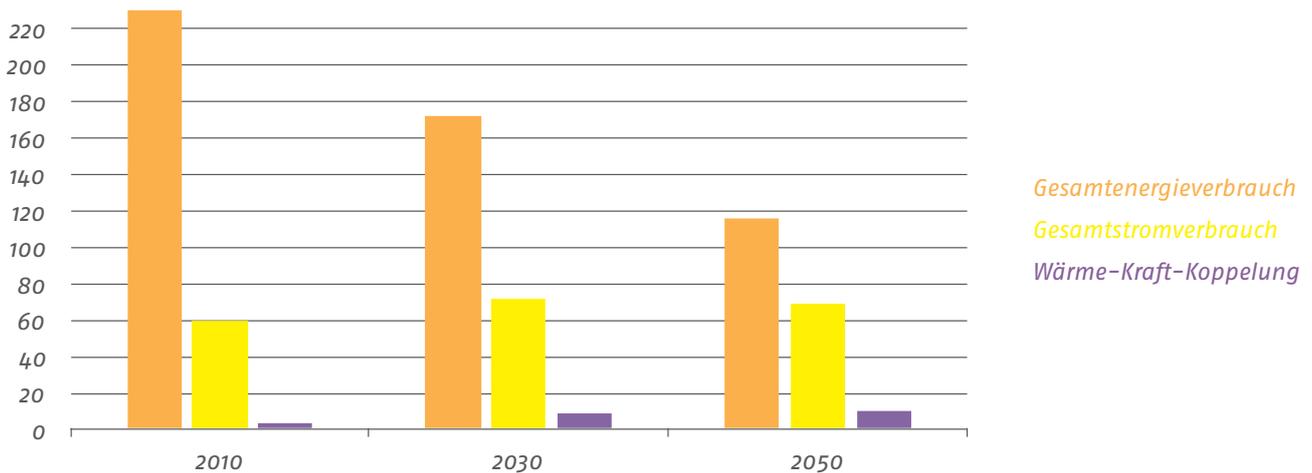
**Abbildung 6**  
Entwicklung von Windenergie und Importen im Verlauf der Zeit

Kontinuierliches Wachstum von Windenergie im Inland auf 5.2 TWh 2050 Importe steigen bis 2030 an und sinken danach wieder ab, vgl. Tabelle 5



**Abbildung 7**  
Entwicklung WKK im Verlauf der Zeit

Kontinuierliches Wachstum auf 16.4 TWh bis 2050, vgl. Tabelle 5



## 7.2 WÄRME

Wärme spielt beim heutigen Energieverbrauch eine grosse Rolle. 36% der Energie werden zur Beheizung von Gebäuden und zur Herstellung von Warmwasser verwendet. 11% werden benötigt, um Prozesswärme herzustellen.<sup>29</sup> Insbesondere bei Gebäuden steht die Reduktion des Verbrauchs an erster Stelle. Daneben gilt es aber auch, dafür zu sorgen, dass die Wärme aus möglichst nachhaltigen Quellen stammt.

Optimal sind folgende Quellen:

- **Thermische Sonnenenergie und Umweltwärme, veredelt mit nachhaltig produziertem Strom**
- **Abwärme von Produktionsprozessen, Kehrlichtverbrennungsanlagen und von stromproduzierenden Wärmekraftkopplungsanlagen (WKK)**

### Thermische Solarenergie

Die thermische Sonnenenergie eignet sich besonders zur Produktion von Warmwasser im Wohnbereich und Heisswasser für technische Prozesse.

Wir gehen davon aus, dass im Jahr 2050 40% des Warmwassers im Gebäudebereich in thermischen Solaranlagen hergestellt werden. Alternativ könnte Warmwasser auch indirekt via Wärmepumpe und PV-Strom erzeugt werden. Welche Variante gewählt wird, hängt stark von der Kostenentwicklung für PV- und Solarthermieanlagen ab. In diesem Zusammenhang darf nicht vergessen werden, dass die Erzeugung von Wärme auch eine günstige Verwendung von Überschussstrom darstellt. Wärmeerzeugung kann deshalb auch helfen, das Netz zu stabilisieren, indem sie Überschussstrom absorbiert, der für die Netzstabilität genau so gefährlich ist wie eine Unterproduktion.<sup>30</sup>

### Umweltwärme

Für die Bereitstellung von Raumwärme wird in Zukunft die Wärmepumpe im Vordergrund stehen. Wärmepumpen entziehen der Umgebung thermische Energie und wandeln diese in Nutzenergie um. Sie benötigen umso weniger Strom, je höher die Temperatur der Umgebung ist.

Abwasser, Grundwasser und Wärme aus Erdsonden sind deshalb bessere Quellen von Umweltwärme als Aussenluft. Auch Seewasser kann an geeigneter Stelle verwendet werden. In Zukunft werden saisonal regenerierte Erdsondenspeicher<sup>31</sup> und niederwertige Abwärme aus Industrie, Dienstleistung und Gewerbe eine immer grössere Rolle spielen. Diese hochwertigen Quellen verbessern, zusammen mit der technischen Entwicklung der Wärmepumpen, den Wirkungsgrad der Anlagen deutlich, sodass der Strombedarf im Winter reduziert wird. Entsprechen wird in den Berechnungen eine Jahresarbeitszahl von 5 im Jahr 2050 verwendet. Dies bedeutet, dass mit 1 kWh Strom 5 kWh Wärme gewonnen werden können.

### Abwärme

Wo immer Abwärme mit einer Temperatur von 50°C und mehr entsteht, sollte diese genutzt werden. Optimale Quellen sind etwa Kehrlichtverbrennungsanlagen und die Abwärme von industriellen Prozessen. Insbesondere in einer Übergangszeit wird die Abwärme von Anlagen zur Wärmekraftkopplung eine wichtige Rolle spielen. Bei WKK-Anlagen ist darauf zu achten, dass sie wärmegeführt betrieben werden. Dies bedeutet, dass für die Abwärme auch eine Nutzungsmöglichkeit vorhanden ist.

### Wärmenetze

Insbesondere in den Städten wird die Verteilung von Wärme durch Wärmeverbundnetze eine wichtige Rolle spielen. Gerade in den Kernstädten sind die Möglichkeiten, den Heizenergieverbrauch durch bessere Dämmung zu reduzieren, aus architektonischen Gründen beschränkt. Deshalb wird man auch in Zukunft in den Städten viele Zonen mit relativ hoher Energiedichte finden.<sup>32</sup> Da wegen des Klimaschutzes nur noch in Ausnahmefällen fossile Verbrennungsheizungen eingesetzt werden können, muss die Versorgung mit Wärme anderweitig sichergestellt werden. Einfache Wärmepumpen kommen für solche Gebäude kaum infrage. In diesen Regionen muss also leitungsgebundene Wärme zugeführt werden. Dafür eignen sich Fernwärmenetze und Anergienetze.

Fernwärmenetze werden auf hohem Temperaturniveau betrieben (80 bis 100 °C) und können die Abwärme von WKK-Anlagen effizient verwerten. In weiterer Zukunft lassen sich diese Netze auch mit Wärme aus Geothermiebohrungen versorgen.

<sup>29</sup> Bundesamt für Energie, Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2012 nach Verwendungszwecken: [www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02167/index.html?lang=de&dossier\\_id=02169](http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/02167/index.html?lang=de&dossier_id=02169)

<sup>30</sup> Allerdings muss darauf geachtet werden, dass Strom nur dann direkt in Wärme umgewandelt wird, wenn Überschüsse vorhanden sind. Eine Wärmeerzeugung die auf mindestens 2 Arten der Erzeugung zurückgreift ist deshalb zwingend. (z.B. Strom direkt und WP oder Strom direkt und Abwärme o.ä.)

<sup>31</sup> Werden viele Erdsonden dicht bei einander gebaut, sinkt die Temperatur in der Umgebung der Erdsonden. Deshalb sollten Erdsonden im Sommer dazu verwendet werden, das Erdreich wieder aufzuheizen. Dazu kann z.B. Abwärme oder Solarenergie verwendet werden. [www.fws.ch/tl\\_files/download\\_d/2014-Stadt\\_Zuerich\\_SB\\_Erdsondenpotenzial.pdf](http://www.fws.ch/tl_files/download_d/2014-Stadt_Zuerich_SB_Erdsondenpotenzial.pdf)

<sup>32</sup> Mit Energiedichte ist die benötigte Feuerungsleistung pro Hektar gemeint. Siehe dazu auch die Analyse von Dr. Eicher + Pauli AG (Markus Erb, Stephan Gutzwiller & Urs Kaufmann) (2012), Fossile BHKW – Potenzial und Standortevaluation im Rahmen der Entwicklung der BFE WKK-Strategie

Anergienetze verteilen die thermische Energie, zum Beispiel aus See- oder Grundwasser, in einem Areal und stellen sie über Wärmepumpen als Wärmequelle zur Verfügung. Je nach Ausgestaltung erlauben es Anergienetze auch, niederwertige Prozessabwärme, etwa aus Rechenzentren, zu nutzen und teilweise sogar saisonal zwischenzulagern.<sup>33</sup>

### 7.3 ENERGIEQUELLEN FÜR STROM UND WÄRME AUS WÄRMEKRAFTKOPPLUNG

#### Biomasse

Aus Biomasse hergestellte Produkte<sup>34</sup> haben den grossen Vorteil, dass man sie lagern kann. Dadurch spielt Biomasse im saisonalen Ausgleich von Energieangebot und Nachfrage eine wichtige Rolle. Allerdings darf Biomasse nur so genutzt werden, dass die Biodiversität und die Ackerfruchtbarkeit nicht beeinträchtigt werden. Die Nahrungsmittelproduktion und die hochwertige Nutzung etwa von Holz soll generell Vorrang haben. Im Vordergrund steht die energetische Nutzung von Abfällen, wobei anzustreben ist, dass nicht nur die Energie, sondern auch die Spurenelemente in der Biomasse genutzt werden.

Biomasse soll möglichst hochwertig eingesetzt werden. Die direkte Verbrennung von trockener Biomasse wie Holz zur Wärmeerzeugung in Wohnbauten wird es deshalb 2050 nur noch in Ausnahmefällen geben. Trockene Biomasse wird in Zukunft auf zwei Arten verwendet: 66% dienen der Produktion von Prozessenergie, wobei Prozesstemperaturen von 100 bis 350 °C im Vordergrund stehen. Der Rest wird der Verstromung in Biomassekraftwerken zugeführt.<sup>35</sup>

Feuchte Biomasse wird konsequent gesammelt und genutzt. Das Standardverfahren dazu ist im Moment die Produktion von Biogas, das verstromt wird. Andere Verfahren, zum Beispiel zur hydrothermalen Carbonisierung, stehen dazu in Konkurrenz und stellen interessante Alternativen dar. Entscheidend ist, dass die Produktion des Energieträgers und die Nutzung zeitlich und örtlich entkoppelt werden. Nur dann ist es möglich, Strom und Wärme optimal zu nutzen. So soll zum Beispiel das erzeugte Biogas ins Erdgasnetz eingespiesen werden und fossiles Erdgas ersetzen. Das Erdgasnetz wird damit zu einem Speicher. Im Cleantech Energiemodell wird Biogas bei der Berechnung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses der Schweiz als Gutschrift zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Erdgas behandelt.

<sup>33</sup> TEC 21, Klimafreundliches Bauen geht in den Untergrund, <http://retro.seals.ch/cntmng?pid=sbz-004:2011:137::3902>

<sup>34</sup> wie Biogas, Pellets, Holzschnitzel oder Aktivkohle oder Ähnliches

<sup>35</sup> Der Wirkungsgrad von WKK-Anlagen, die mit Holz betrieben werden, ist relativ tief. Es optimiert deshalb die Gesamtbilanz, wenn Erdgas in Feuerungen für Prozessenergie durch Holz ersetzt wird, während die WKK-Anlage mit Gas betrieben wird.

Bei der Beurteilung, welche Verwendung von Biomasse optimal ist, muss auch berücksichtigt werden, ob ein Verfahren etabliert ist, um wertvolle Inhaltstoffe wie Spurenelemente wieder zu gewinnen.

#### Geothermie

Die Geothermie, insbesondere die petrothermale<sup>36</sup> Geothermie, kann nahezu unerschöpfliche Energien zur Verfügung stellen. Da das Verfahren heute noch in den Kinderschuhen steckt, rechnen wir bis 2040 aber mit einem eher kleinen Beitrag aus dieser Energiequelle. Ab 2040 beginnt erst die Wachstumsphase der Geothermie in der Schweiz.

Die Hauptanwendung für die Geothermie liegt in der Wärmeversorgung von Ballungszentren (siehe oben). Damit die Geothermie eine Rolle in der Stromversorgung übernehmen kann, muss möglichst heisses Wasser gefördert werden.<sup>37</sup> Dies verlangt entweder tiefe Bohrungen oder Bohrungen in geologisch unruhigen Zonen. Das Erste erhöht die Kosten, das Zweite das Risiko von Erschütterungen. Es fragt sich deshalb, ob es bei der Geothermie nicht sinnvoller wäre, die Nutzung der Wärme in den Vordergrund zu rücken.

swisscleantech ist der Meinung, dass dem Risikoaspekt bei der Geothermie zu grosse Bedeutung zugemessen wird. Das Verfahren weist grosse Parallelen zur Erschliessung von fossilen Quellen auf, sowohl was die Bohrtechnologie anbelangt, als auch bei der Methode, wie das Muttergestein geöffnet wird. Diese Technologien sind mittlerweile gut erprobt. Sie bergen das Risiko von Erdbeben, wenn die Bohroperation auf geologisch vorge-spannte Schichten im Untergrund trifft. Erfahrungen aus der Gas- und Erdölförderung zeigen jedoch, dass solche Ereignisse selten auftreten, wenn eine gute Untersuchung der geologischen Verhältnisse vorausgeht. Ausserdem lässt sich das Risiko durch eine Weiterentwicklung der Bohrtechnik und der Bohrlochanordnung<sup>38</sup> reduzieren.

Es muss auch berücksichtigt werden, dass die Tiefengeothermie zum Teil toxische Mineralien an die Oberfläche spült. Die korrekte Behandlung dieser Stoffe muss durch eine geeignete Prozessführung gewährleistet sein.

<sup>36</sup> Bei der petrothermalen Geothermie wird die Energie dem trockenen Gestein entzogen, für die hydrothermale Geothermie muss eine tief liegende Wasserschicht vorhanden sein. Die petrothermale Geothermie wäre deshalb viel breiter einsetzbar.

<sup>37</sup> Der Wirkungsgrad ist proportional zur Differenz der vorgefundenen Temperaturverhältnisse.

<sup>38</sup> Werden anstelle von zwei senkrechten Bohrungen in grösserer Distanz zwei in der Tiefe gekrümmte Bohrungen vorgenommen, die nahe beieinander liegen, kann die Stimulierung des Untergrunds mit bedeutend geringerem Energieaufwand erfolgen. Gelingt es zusätzlich, kritische, bereits vorgespannte Gesteinsformationen zu meiden, lassen sich Erschütterungen an der Oberfläche – bis auf unproblematische Mikrobeben – verhindern.

### **Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)**

Die Verbrennung von Abfall wird weiterhin eine interessante, jedoch begrenzte Quelle von Energie sein. Die Energiepotenziale der KVAs gilt es deshalb optimal zu nutzen. Die Nutzung über Wärmekraftkopplung sollte dabei im Vordergrund stehen, damit Strom und Abwärme zur Verfügung stehen. In Zukunft soll der Betrieb der KVAs vermehrt saisonal ausgerichtet werden, sodass diese einen grösseren Beitrag zur Energieversorgung im Winter leisten können.

## **7.4 FOSSILE ENERGIEN: MEHR GAS, WENIGER ÖL**

Im Grundsatz gilt: Fossile Energieträger werden wenn immer möglich gemieden.

Doch auch in Zukunft wird die fossile Energie eine Rolle spielen. Die Cleantech Energiestrategie beschränkt den Verbrauch aber auf einen Wert, der es erlaubt, 2050 das Ziel von einer Tonne Treibhausgasemission pro Kopf und Jahr zu erreichen. Da auch andere Klimagase zu berücksichtigen sind und zusätzlich ein Betrag für den Flugverkehr eingerechnet werden muss, steht pro Person ein Budget von 0.5 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub> aus fossilen Energieträgern zur Verfügung. Dies bedeutet gleichzeitig, dass der Energieverbrauch aus fossilen Quellen erhöht werden kann, wenn mehr Gas und weniger Öl eingesetzt wird, da bei der Verbrennung von Gas weniger CO<sub>2</sub> entsteht als bei der Verbrennung von Erdöl. Aufgrund der unbestrittenen Vorteile von Öl in der Handhabung gehen wir dennoch davon aus, dass weiterhin Öl verwendet wird. Das Verhältnis von Öl zu Gas wird daher auf 1:1 gesetzt; heute beträgt der Gasanteil nur 20%.

Wegen des Klimawandels ist auch Fracking keine sinnvolle Lösung für die Energieversorgung.<sup>39</sup> Selbst die IEA (2012)<sup>40</sup> geht davon aus, dass zwei Drittel aller fossilen Ressourcen unangetastet bleiben müssen, wenn das 2-Grad-Ziel eingehalten werden soll. Explorationsen von neuen Vorkommen sind deshalb «Stranded Investments».

## **7.5 POWER TO GAS: POTENZIAL DER ZUKUNFT**

Die fluktuierende Produktion der erneuerbaren Energien führt dazu, dass erhebliche Mengen dieser Energien dann zur Verfügung stehen werden, wenn kein direkter Bedarf vorhanden ist. Primär wird solcher Strom in Batterien und Speicherseen gespeichert werden. Längerfristig wird aber auch die elektrochemische Umwandlung zu Wasserstoff und Erdgas eine Rolle spielen. Das Erdgasnetz kann hierzu als natürlicher saisonaler Speicher dienen. Die technische Machbarkeit dieser Speicherung ist nachgewiesen, noch stellen sich aber erhebliche Fragen bezüglich der Kosteneffizienz.

<sup>39</sup> Fracking ist auch kommerziell nicht attraktiv, da selbst die besten Fracking-Quellen schon nach drei Jahren 80% weniger Output haben als am Anfang: Siper, SES (2014), Fossile Schweiz. Dies ist jedoch nicht der Hauptgrund, warum swisscleantech Fracking ablehnt.

<sup>40</sup> IEA, World Energy Outlook (2012): «No more than one-third of proven reserves of fossil fuels can be consumed prior to 2050 if the world is to achieve the 2 °C goal.»

Abbildung 8  
Verwendung der Biomasse in der Schweiz

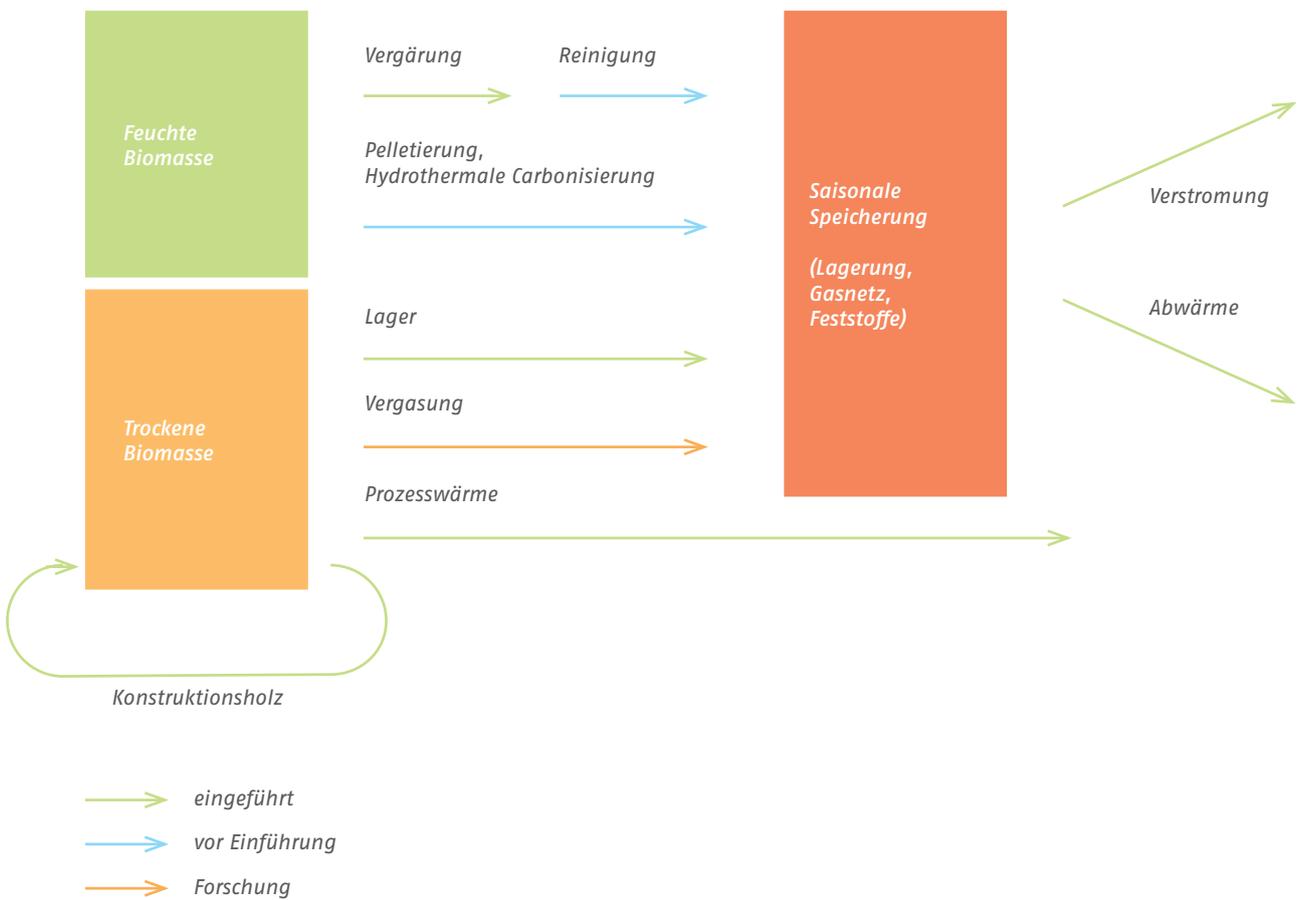


Abbildung 9  
Entwicklung Endenergieverbrauch in der Schweiz bis 2050

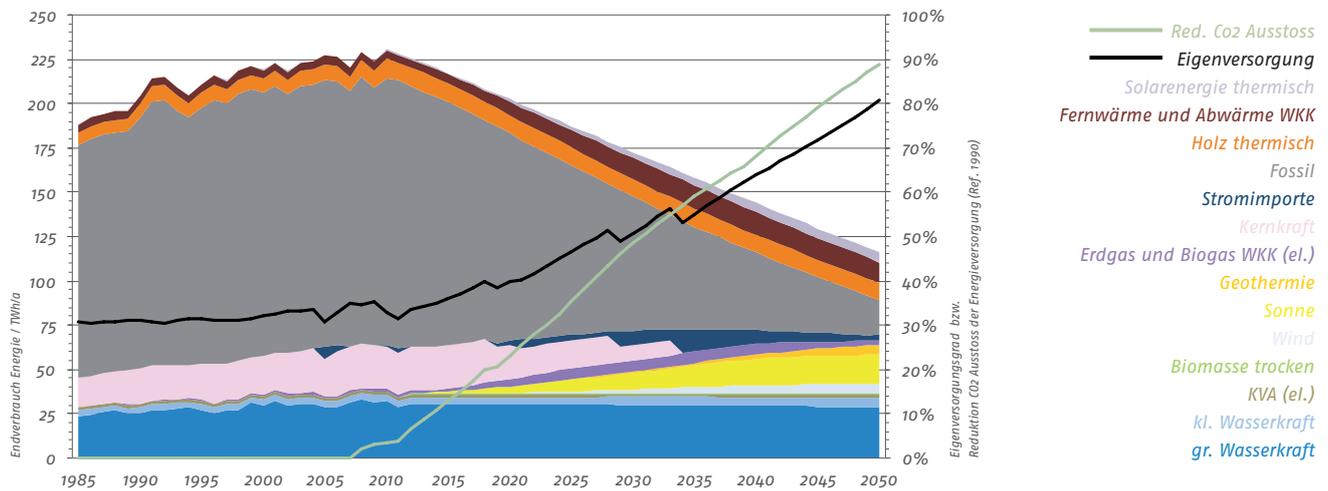


Tabelle 4  
Verwendung der Energieträger aufgrund ihrer Wertigkeit

		Energieträger								
		Holz	Feuchte Biomasse	Sonnenenergie	Wind	Wasser: Laufkraftwerk	Wasser: Speicher und Pumpspeicher	Umweltwärme	Kehricht	Fossile Energieträger
Wertigkeit	Speicherung (saisonal)		Erdgasnetz	Power to Gas			Speicher		Lagerung	
	Speicherung (Wochen)				Speicherseen		Speicherseen und Pumpspeicherseen			
	Speicherung (Stunden)			Batterien Druckluftspeicher	Speicherseen					
	Strom	Mit Abwärmee-nutzung	via Erdgasnetz						Mit Abwärmee-nutzung	Mit Abwärmee-nutzung
	Mechanische Energie			Mobilität						Mobilität
	Hochtemperatur-Prozesswärme									Mit Abwärmee-nutzung
	Mitteltemperatur-Prozesswärme	Thermoöl/Dampf							Dampf	Als Abwärmee-nutzung von WKK
	Heizenergie	Abwärme	Abwärme	Warmwasser				Mit WP	Wärme und Abwärme	Abwärme

Primärer Einsatz

Sekundärer Einsatz

Wertigkeit der Energien in Schattierung (dunkel = hochwertig)

Tabelle 5  
Entwicklung Endenergieverbrauch in der Schweiz bis 2050

	2010		2020		2030		2035		2040		2050	
Bevölkerung [Mio]	7.8		8.4		8.7		8.8		8.9		9.0	
Endenergieverbrauch [TWh]: Realistische Effizienzsteigerung	230.3		202.4		172.6		158.4		143.8		116.2	
Stromverbrauch [TWh]: Leichter Anstieg	60		66		72		72		72		70	
Verbrauch pro Person [KWh]: 3500-W-Gesellschaft im Jahr 2050	29000		24000		20000		18000		16000		13000	
Eigenversorgung: Abnahme Auslandsabhängigkeit	33%		40%		51%		55%		64%		81%	
CO <sub>2</sub> -Emissionen (Basis 1990): Inlandreduktion von 20% bis 2020	3.6%		23.1%		48.5%		59.0%		68.2%		88.8%	
Zusammensetzung Endenergieverbrauch:	[TWh]	[%]										
Fossil: Decarbonisierung	151.0	65.6%	117.2	57.9%	75.4	43.7%	58.0	36.6%	43.7	30.4%	19.4	16.7%
Kernenergie: Kontrollierter Ausstieg	23.8	10.4%	19.0	9.4%	8.6	5.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
Erneuerbare Inland: Anstieg auf fast 75%	53.8	23.4%	60.8	30.0%	76.3	44.2%	83.9	53.0%	88.7	61.7%	93.7	80.6%
Erdgas WKK: Brückentechnologie	1.1	0.5%	3.1	1.5%	3.8	2.2%	4.0	2.5%	3.7	2.6%	0.0	0.0%
Stromimporte: Qualitativ hochstehend	0.5	0.2%	2.3	1.2%	8.4	4.8%	12.4	7.8%	7.6	5.3%	3.1	2.7%
<b>Total</b>	<b>230.3</b>	<b>100.0%</b>	<b>202.4</b>	<b>100.0%</b>	<b>172.6</b>	<b>100.0%</b>	<b>158.4</b>	<b>100.0%</b>	<b>143.8</b>	<b>100.0%</b>	<b>116.2</b>	<b>100.0%</b>

<b>ERNEUERBARE</b>	[TWh]	[%]										
Grosswasserkraft: konstant, ohne neue Pumpspeicherung	32.06	13.9%	30.39	15.0%	29.98	17.4%	29.73	18.8%	29.46	20.5%	28.80	24.8%
Sonne: Potenzial nutzen – vorwiegend Dachflächen	0.09	0.0%	3.53	1.7%	9.57	5.5%	12.66	8.0%	14.98	10.4%	16.38	14.1%
Wärmeverbundnetze: Abwärme einsetzen	4.68	2.0%	7.59	3.8%	11.73	6.8%	13.43	8.5%	12.72	8.8%	11.54	9.9%
Holz thermisch: Prozesswärme (heute Heizung)	10.91	4.7%	10.41	5.1%	10.27	6.0%	10.20	6.4%	10.14	7.0%	10.00	8.6%
Kleinwasserkraft: Selektiv (Biodiversität)	3.50	1.5%	3.97	2.0%	4.46	2.6%	4.70	3.0%	4.85	3.4%	4.91	4.2%
Geothermie: Entwickeln, verfügbar ab 2030	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.19	0.1%	0.92	0.6%	2.40	1.7%	5.88	5.1%
Wind: Selektiv (Landschaftsschutz)	0.04	0.0%	0.39	0.2%	1.97	1.1%	2.99	1.9%	3.97	2.8%	5.18	4.5%
Biogas WKK: Selektiv (Biodiversität)	0.28	0.1%	1.13	0.6%	2.47	1.4%	2.45	1.5%	2.43	1.7%	2.38	2.0%
KVA: Konstant (50% erneuerbar)	1.73	0.8%	1.71	0.8%	1.69	1.0%	1.67	1.1%	1.66	1.2%	1.62	1.4%
Biomasse verstromt: Selektiv (Biodiversität)	0.17	0.1%	0.37	0.2%	0.70	0.4%	0.91	0.6%	1.02	0.7%	1.29	1.1%
Solarthermie: Warmwasser	0.40	0.2%	1.27	0.6%	3.31	1.9%	4.26	2.7%	5.12	3.6%	5.69	4.9%
<b>Total</b>	<b>53.8</b>	<b>23.4%</b>	<b>60.8</b>	<b>30.0%</b>	<b>76.3</b>	<b>44.2%</b>	<b>83.9</b>	<b>53.0%</b>	<b>88.7</b>	<b>61.7%</b>	<b>93.7</b>	<b>80.6%</b>

7.6 KERNKRAFT

Die Frage des Ausstiegs aus der Kernkraft ist im Rahmen einer Gesamtenergiestrategie und unter Berücksichtigung der Vollkostenrechnung zu beantworten. Werden sämtliche berechenbaren Kosten – Versicherung eines Unfalls mit hoher Freisetzung von Radioaktivität<sup>41</sup>, Stilllegung, Rückbau, Endlagerung – einbezogen, wird KKW-Strom markant teurer.<sup>42</sup> Werden auch die steigenden Sicherheitsanforderungen an Kernkraftwerke berücksichtigt, sind diese in Zukunft kaum noch wettbewerbsfähig. Zudem zeigen externe Analysen der Geschäftsberichte der Schweizer Kernkraftwerke, dass nebst der volkswirtschaftlichen auch die betriebswirtschaftliche Rechnung nicht aufzugehen scheint.<sup>43</sup>

Die Kosten der Kernkraft steigen, ganz im Gegensatz zu denjenigen der erneuerbaren Energien, die durch Skaleneffekte schnell günstiger werden. Zudem ist das Restrisiko eines Kernkraftunfalls in der dicht besiedelten Schweiz im Herzen Europas untragbar – eine Studie des Bundesamts für Bevölkerungsschutz schätzt den Schadenshöchstfall auf 4200 Mrd. Franken.<sup>44</sup> swisscleantech setzt sich daher für einen geordneten und wirtschaftsfreundlichen Ausstieg aus der Kernkraft ein.

41 Die Versicherungssumme wurde im Jahr 2008 vom Parlament auf 1.8 Mrd. Franken festgelegt. Dieser Betrag ist bei einer massiven Freisetzung um mindestens den Faktor 55 zu tief. Die direkten Schäden werden auf 100 Mrd. Franken geschätzt: [www.handelszeitung.ch/konjunktur/schweizer-wirtschaft-wuerde-super-gau-kaum-verkraften](http://www.handelszeitung.ch/konjunktur/schweizer-wirtschaft-wuerde-super-gau-kaum-verkraften)

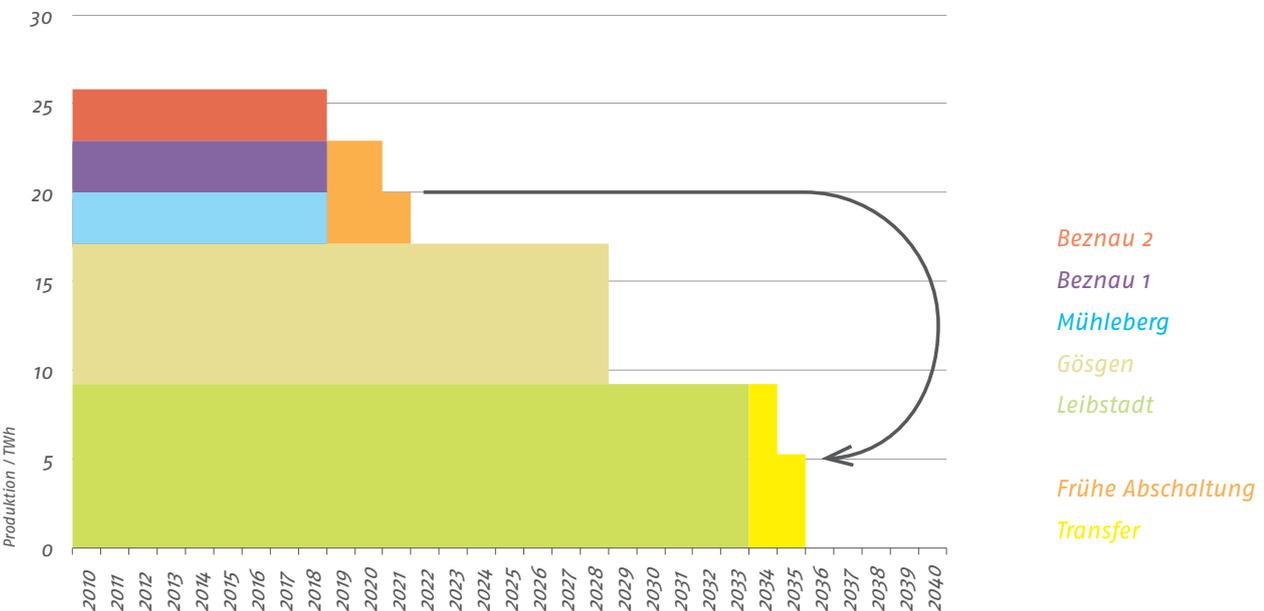
42 SES (2013), Atomvollkosten: [www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-kosten/01\\_ses\\_studie\\_atomvollkosten.pdf](http://www.energiestiftung.ch/files/downloads/energiethemen-atomenergie-kosten/01_ses_studie_atomvollkosten.pdf)

43 Müller, Kaspar (2012): Analyse externalisierter Kosten sowie der finanziellen Risiken der Energieversorgung. Referat an der Pusch-Tagung vom 4. September 2012.

44 [www.weltwoche.ch/ausgaben/2001-41/artikel-2001-41-plotzlich-ist-d.html](http://www.weltwoche.ch/ausgaben/2001-41/artikel-2001-41-plotzlich-ist-d.html)

Abbildung 10

Aufgrund der unterschiedlichen Leistung entsprechen die von Mühleberg und Beznau 1 verlagerten 7 Betriebsjahre (orange) rund 1.5 zusätzlichen Betriebsjahren in Leibstadt (gelb). Dabei wird angenommen, dass allen Kraftwerken eine Lebensdauer von 50 Jahren zugestanden wird. Alle alten Anlagen werden 2019 ausgeschaltet. Diese Darstellung ist als Beispiel zu verstehen. Die effektiven Laufzeiten sowie die Verschiebungen müssen unter den Stakeholdern ausgehandelt werden.



### Übertragbare KKW-Restlaufzeiten

Für eine optimale Umsetzung der Energiewende ist es wichtig zu wissen, wie viel Strom aus Kernkraftwerken wann zur Verfügung steht. So können Investitionen in die Sicherheit der Kernkraftwerke wie auch in neue Infrastrukturen optimal geplant werden. Mit Hilfe des Energiemodells hat swisscleantech deshalb 2013 einen Fahrplan für die Abschaltung der Schweizer Kernkraftwerke erarbeitet. Dieser reduziert das Restrisiko, das von den Kernkraftanlagen in der Schweiz ausgeht um 40% bei gleich bleibender Gesamtproduktionsmenge. Die Grundidee ist, dass die Kernkraftwerksbetreiber sich darauf einigen, die älteren Anlagen mit geringerer Sicherheit früher abzuschalten. Den Betreibern wird im Gegenzug das Recht zugestanden, die neueren Anlagen mit höherer Sicherheit länger laufen zu lassen. Da die Werke in unterschiedlichem Besitz sind, müssen zwischen diesen Entschädigungen für die entgangene Produktion fließen, indem Produktionskontingente übertragen werden. Insgesamt ist eine solche Übertragung der Produktion von älteren auf neuere Werke sowohl betriebswirtschaftlich wie volkswirtschaftlich vorteilhaft. Ein entscheidender Vorteil des Vorgehens ist neben dem deutlich reduzierten

Restrisiko die verbesserte Versorgungssicherheit in den kritischen Winterhalbjahren 2035 bis 2040. Gemäss den Berechnungen von swisscleantech werden in diesen Jahren die erneuerbaren Energien noch etwas knapp sein, sodass ein relativ grosser Importanteil notwendig wird.<sup>45</sup>

Ein entscheidender erster Schritt wäre ein klares Signal der Politik, dass ein definitiver Plan für das Ausschalten der Kernkraftwerke die optimale Lösung bezüglich der Planungssicherheit und auch der Versorgungssicherheit darstellt. Der Entscheid der BKW, Mühleberg 2019 vom Netz zu nehmen, ist deshalb zu begrüssen.

<sup>45</sup> [www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POL/SCA\\_POL\\_Kompromiss\\_KKWlaufzeitenregelung\\_DE.pdf](http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POL/SCA_POL_Kompromiss_KKWlaufzeitenregelung_DE.pdf)

Tabelle 6  
KKW-Ausstiegsplan

(gemäss Vorschlag Bundesrat und Beschluss BKW, basiert auf 50 Jahre Maxmallaufzeit)

	BEZNAU 1	BEZNAU 2	MÜHLEBERG	GÖSGEN	LEIBSTADT
<b>INBETRIEBNAHME</b>	1969	1971	1972	1979	1984
<b>LAUFZEIT</b>	50	50	47	50	50
<b>ABSCHALTUNG</b>	2019	2021	2019	2029	2034

## 8. INTELLIGENTE VERTEILUNG UND SPEICHERUNG

### 8.1 STROMNETZ

Bei der Umsetzung der Cleantech Energiestrategie spielt das Netz eine entscheidende Rolle. Durch den teilweisen Wegfall der Bandenergie und das Hinzukommen von «nervöser», das heisst zeitlich unterschiedlich anfallender, Energie aus dem In- und Ausland muss das Schweizer Stromnetz höhere Anforderungen bezüglich Stromfluss erfüllen. Wenn in Zukunft die heutigen Konsumenten auch zu Produzenten werden, muss der Strom neu in beide Richtungen fliessen können. Diese Fähigkeiten müssen ab 2030 an immer mehr Orten in der Schweiz zur Verfügung stehen; die notwendigen Infrastrukturinvestitionen sind deshalb rasch zu realisieren.

#### Freier Verkehr zwischen den Netzebenen in beide Richtungen

Während der Strom bisher im Wesentlichen in eine Richtung – von der Hochspannung zur Niederspannung – floss, muss er im neuen, dezentralen Umfeld mit vielen kleinen Produzenten ungehindert in beide Richtungen zwischen den verschiedenen Netzebenen fliessen können.

#### Optimale internationale Anbindung

Mittelfristig werden in Europa verschiedenste Kapazitäten zur Erzeugung erneuerbarer Energie zur Verfügung stehen. Die Energie daraus fällt zum Teil unregelmässig an. Dies eröffnet für die Betreiber der schweizerischen Pumpspeicher- und Speicherwerke langfristig interessante wirtschaftliche Chancen. Schon heute ist Windstrom an der Strombörse zu Spitzenzeiten annähernd zum Nulltarif zu haben. Wer diese Energie zeitverschoben zur Verfügung stellen kann, profitiert von hohen Preisen. Eine Stärke der schweizerischen Stromindustrie ist ihre grosse Flexibilität dank der Pumpspeicher- und Speicherkapazität. Diese kann sie dann voll ausschöpfen, wenn die

internationale Einbindung eine ausreichend grosse Leistung aufnehmen kann. Dazu muss die Regel- und Speicherinfrastruktur optimal ans Netz angebunden sein. Die Schweiz muss sich deshalb aktiv in internationale Projekte zur Realisierung von Hochspannungs-Gleichstromübertragungs-Netzen (HGÜ, englisch HVDC) einbringen. Aufgrund der geografischen Lage der Stromerzeugungskapazitäten und der erneuerbaren Potenziale ist vor allem eine Nord-Süd-Verbindung von Deutschland (Nordsee) nach Italien für die Schweiz von grosser Bedeutung. Deshalb gilt es, die heutigen Engpassstellen insbesondere in Mitteldeutschland und in Südbaden zu beseitigen, damit Überschussstrom aus den Windkraftanlagen in der Schweiz verwertet werden kann.

#### Lokaler Netzausgleich durch Smart Grid und lokale Speicher

Eine ungleichmässige Einspeisung erfordert mehr Regelkapazität. Wird diese im Siedlungsraum realisiert, wo dezentrale PV-Anlagen und zeitversetzte Verbraucher nahe beieinander sind, kann dies helfen, den Netzausbau auf den höheren Netzebenen zu reduzieren oder gar zu vermeiden. Dies vermindert die Ausbaukosten und ermöglicht es, die Schweizer Batteriefunktion auf europäischer Ebene weiter zu optimieren, indem auch Windstromüberschuss lokal gespeichert wird und die Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke für Regelenergie und Engpassmanagement frei werden. Diese Pufferung durch dezentrale Speicheranlagen muss zusätzlich unterstützt werden durch flexibel ansteuerbare Verbraucher und Produktionsanlagen, die bei einer Überschussproduktion abgeschaltet werden können. Erhält diese Flexibilität einen Preis, können sich neue Geschäftsmodelle im Bereich des Demand-Side-Managements eröffnen. So kann sich ein kosteneffizienter Mix aus Netzausbau, lokalen Zwischenspeichern, abschaltbaren Produzenten

und Verbrauchern entwickeln. Dieses Potenzial wird allerdings erst voll zur Geltung kommen, wenn die heutigen Kohlekraftwerke aus Klimaschutzgründen nach und nach als Bandlastproduzenten abgeschaltet werden.

#### **Offener Markt, flexible Verrechnung**

Unterstützt wird dieser Umbau durch eine maximale Flexibilisierung der Verrechnung. Dabei muss nicht nur die Netznutzungsgebühr entsprechend den Engpässen flexibilisiert werden – andere Tageszeiten, andere Tarife –, auch der Produktionspreis muss an die momentane Versorgungssituation angepasst werden. Abrechnungstarife sind deshalb in bedeutend kürzeren Intervallen festzulegen und der Strompreis ist näher am Marktpreis zu verrechnen.

Ebenso sollten die Preise je nach den Ansprüchen an die Versorgungssicherheit angepasst werden. Nicht jeder Nutzer ist im gleichen Mass auf eine permanente Versorgung angewiesen. Der Schaden bei einem Stromunterbruch ist für einen Industriebetrieb ungleich höher als für einen privaten Hausbesitzer. Wer bereit ist, bezüglich Sicherheit Abstriche in Kauf zu nehmen, sollte mit günstigeren Tarifen belohnt werden. Dafür braucht es neue Rahmenbedingungen und einen Strommarkt, der allen Kundengruppen Wahlfreiheit und einen freien Zugang zu den Anbietern ermöglicht.

## **8.2 SPEICHERUNG**

### **Dezentrale kurzzeitige Speicherung einbinden (Stunden bis Tage)**

Die kurzzeitige Speicherung verlagert Strom um Stunden oder bis maximal einen oder zwei Tage. Da Kurzzeitspeicher vor allem für dezentrale Solaranlagen nutzbringend sind, ist es sinnvoll, diese Speicher ebenfalls dezentral anzusiedeln. Im Moment steht dazu die Batteriespeicherung im Vordergrund, andere Technologien können ergänzend zum Einsatz kommen. Dezentrale Speicherung, ergänzt durch die gezielte Zuschaltung von zeitlich flexiblen Verbrauchern, kann das Netz auf der untersten Ebene stark entlasten, die Ausbaurkosten senken und den Bedarf an Regenergie auf den oberen Spannungsebenen reduzieren. Durch zeitlich differenzierte Vergütungsmodelle lässt sich kurzfristige Speicherung finanzieren. Dabei könnte insbesondere auch die Batterien von Elektromobilen eine wichtige Rolle spielen. Diese Batterien stehen als Schwarmpeicher einen grossen Teil des Tages zur Verfügung.

Batterien sind im Moment noch teuer, so dass sich der Betrieb heute meist nicht rechnet. In den kommenden Jahren werden aber grosse Mengen an Batterien ihren Betrieb aufnehmen, deren Hauptnutzen nicht die Stromspeicherung ist. Dies wird zu einer erheblichen Kostendegression in den Batteriepreisen führen. Die kurzfristige Stromspeicherung mit Batterien könnte so im Jahr 2030 in der Grössenordnung von 6 Rp./kWh kosten.<sup>46</sup>

<sup>46</sup> z.B. Anlagen zur unterbrechungsfreien Stromversorgung (USV), Batterien

### Tages- und Wochen-Speicher – aktive Bewirtschaftung der Speicherseen

Wie oben erwähnt, ist das Windenergiepotenzial in Europa erheblich. Bereits heute treten im europäischen Netz Phasen auf, in denen das Angebot an Strom aus Windenergie grösser ist als der aktuelle Bedarf. Dieser Strom kann zu günstigen Tarifen aus dem Netz bezogen werden. Für die Pumpspeicherung eröffnet sich hier ein neues Businessfeld, indem sie Überschussstrom pumpt und dann wieder zur Verfügung stellt, wenn die Nachfrage hoch ist. Wesentlich grösseres Potenzial bietet aber eine aktivere Bewirtschaftung der Speicherseen. Richtet sich die Schweizer Strombranche konsequent darauf aus, die Speicherseen nur dann zur Stromproduktion zu benutzen, wenn im europäischen Netz ein knappes Angebot herrscht, kann das «Netz Schweiz» dem europäischen Stromnetz eine Stabilitätsreserve von gegen 10 GW Leistung zur Verfügung stellen.

### Saisonale Speicherung und Winterstrom

Aufgrund dieser Überlegungen zum Windstromangebot in Europa geht swisscleantech davon aus, dass kein Bedarf für zusätzliche saisonale Speichermöglichkeiten in der Form von weiteren Speicherseen besteht. In Anbetracht der Widerstände wären solche Projekte auch nur schwer zu realisieren. Angesichts des zu erwartenden günstigen Überschussstroms lässt sich aber nicht ausschliessen, dass dennoch Projekte für neue Speicherseen entwickelt und realisiert werden. Die Pumpspeicherwerke, die im Moment in Planung sind, erachten wir jedoch als sinnvoll, allerdings nicht in der Funktion eines saisonalen Speichers, sondern als Tages- bzw. Wochen-Speicher. Ob weitere Projekte realisiert werden sollen oder nicht, ist aber nicht zuletzt auch unter den Gesichtspunkten Landschafts- und Biodiversität zu beurteilen.

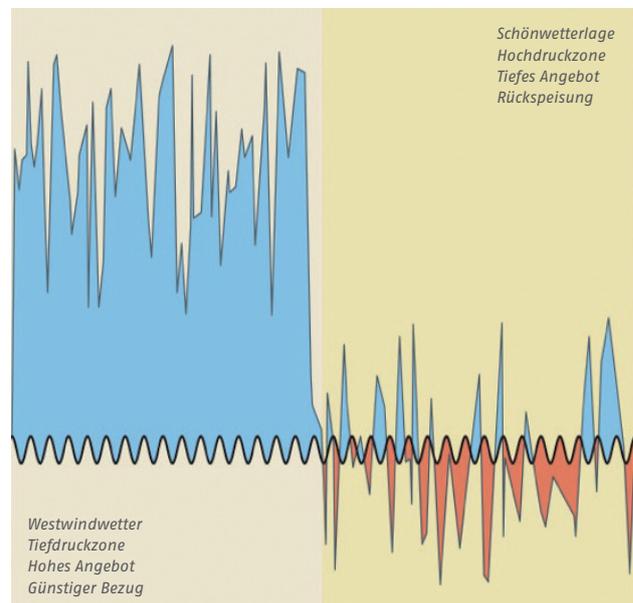
Abbildung 11  
Zwischenspeicherung von Windenergie in Speicherseen

Windenergie ist stark von den Wetterbedingungen abhängig. Phasen mit hoher Windenergieproduktion werden sich im Ein-bis-zwei-Wochen-Rhythmus mit Phasen geringerer Produktion abwechseln. Der Überschuss aus Phasen hoher Windenergieproduktion (linke Seite im Bild) eignet sich ideal für eine Zwischenspeicherung in Speicherseen und kann in Zeiten tiefen Windstromangebots (rechte Seite im Bild) aus diesen zurückgespiessen werden. Voraussetzung ist ein fortlaufender Ausbau der Windenergie im Ausland.<sup>47</sup>

Überschuss  
Bezug aus Speicher

Europäischer  
Strombedarf

Angebot  
erneuerbarer Strom  
in Europa



<sup>47</sup> Das eingeschränkte, technische europäische Windpotenzial 2030 ist mit 42 500 TWh rund achtmal grösser als der europäische Verbrauch im selben Jahr. Das eingeschränkte, technische Windpotenzial ergibt sich aus dem technischen europäischen Windpotenzial abzüglich aller Flächen, die in «Natura 2000» und der «Common Database on Designated Areas» als schützenswert klassifiziert sind: European Environment Agency (2008), Europe's onshore and offshore wind energy potential

### Die Stromversorgung im Winter

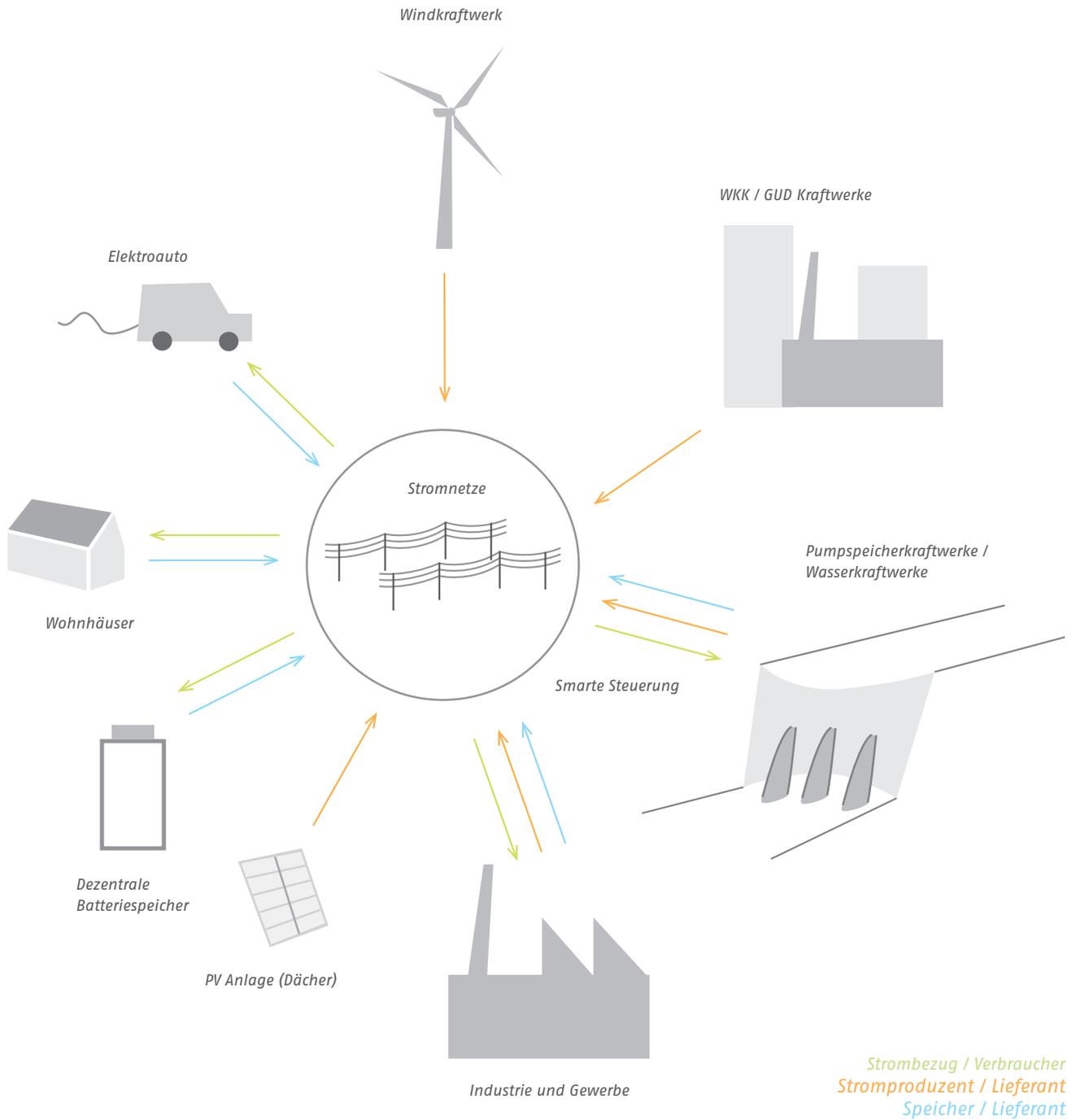
Für die Schweizer Wirtschaft ist eine sichere Versorgung mit Energie entscheidend. Wir haben uns deshalb intensiv mit der Verteilung des Stromverbrauchs und der Stromproduktion über das Jahr auseinander gesetzt. Insbesondere das Angebot von Solarstrom und aus den Laufkraftwerken ist in der Schweiz im Sommer grösser, der Bedarf hat seinen Peak jedoch im Winter. Mit den folgenden Massnahmen lässt sich sicherstellen, dass auch im Winter genügend Strom zur Verfügung steht:

- **Ausbau der wärmegeführten Wärme-Kraft-Kopplung (WKK):**  
Areal mit hoher Anschlussdichte sollen konsequent mit Fernwärme erschlossen werden. Die dafür notwendige Wärme wird in WKK-Anlagen bereitgestellt. Diese werden konsequent wärmegeführt betrieben. Längerfristig sollen diese Anlagen mit geothermischen Kraftwerken betrieben werden.
- **Gezielter Einsatz der Speicherseen:**  
Die Speicherseen werden bevorzugt dann geleert, wenn Strom eher knapp ist (Dezember bis März). Importe werden deshalb schwergewichtig im Herbst und im Frühling getätigt.
- **Höhere Ausbeute an Solarstrom im Winter wird mit hochalpiner PV sowie mit PV-Anlagen an Fassaden möglich.**

Für die Darstellung in Abbildung 12 wurde zudem berücksichtigt, dass sich aufgrund des Klimawandels die Produktionsverhältnisse bei den Laufwasserkraftwerken verändern werden: Die Winter werden feuchter, die Sommer trockener. Eine gewisse, noch nicht berücksichtigte Entlastung des winterlichen Stromverbrauchs können Plug-in-Hybridfahrzeuge mit Reichweitenverlängerer bieten. Diese kombinieren eine relativ kleine Batterie mit einem Verbrennungsmotor. So kann wahlweise ausschliesslich mit Strom oder Treibstoff gefahren werden. Im Winter könnten sie vermehrt mit dem Reichweitenverlängerer (Treibstoff) betrieben werden, während im Sommer vorwiegend mit Solarstrom gefahren wird.

Der verbleibende Bedarf lässt sich mit Importen decken, was insbesondere in den Monaten September/Okttober sowie Februar/März/April der Fall sein wird. Insgesamt müssen 2035 – im Jahr nach Abschaltung des letzten Kernkraftwerks – ca. 13 TWh importiert werden. Sollte es sich abzeichnen, dass entgegen den hier getroffenen Annahmen ein Import von Strom aus erneuerbaren Quellen nicht möglich ist, wäre als Absicherung ein Gaskombikraftwerk (GuD) denkbar – natürlich innerhalb des durch das CO<sub>2</sub>-Gesetz vorgegebenen Rahmens. Dieses sollte in mindestens 1–2 Wochen langen Blöcken, bei optimalem Wirkungsgrad und in Dauerlast betrieben werden. Gegen einen GuD-Einsatz zur Netzstabilisierung sprechen die Unterhaltskosten, der geringe Wirkungsgrad im Teillastfall und die fehlende Fähigkeit, Angebots- Spitzen zu speichern.

Abbildung 12  
 Stromproduzenten und –verbraucher übernehmen in Zukunft verschiedene Rollen



**Stromproduzenten und –verbraucher übernehmen in Zukunft verschiedene Rollen**

Diese Überlegungen stellen sicher, dass insbesondere in der Übergangsphase 2035 bis 2050 über den Winter ein ausreichendes Angebot an Strom zur Verfügung steht. swisscleantech geht davon aus, dass langfristig auch im Winter Strom aus erneuerbaren Quellen in grossem Mass zur Verfügung stehen wird, ist doch das europäische Potenzial an Windstrom erheblich. Sollte dieses Potenzial schneller zur Verfügung stehen als hier angenommen, könnte auf den Einsatz von WKK-Anlagen verzichtet werden, allerdings nicht auf den Einsatz der Geothermie.

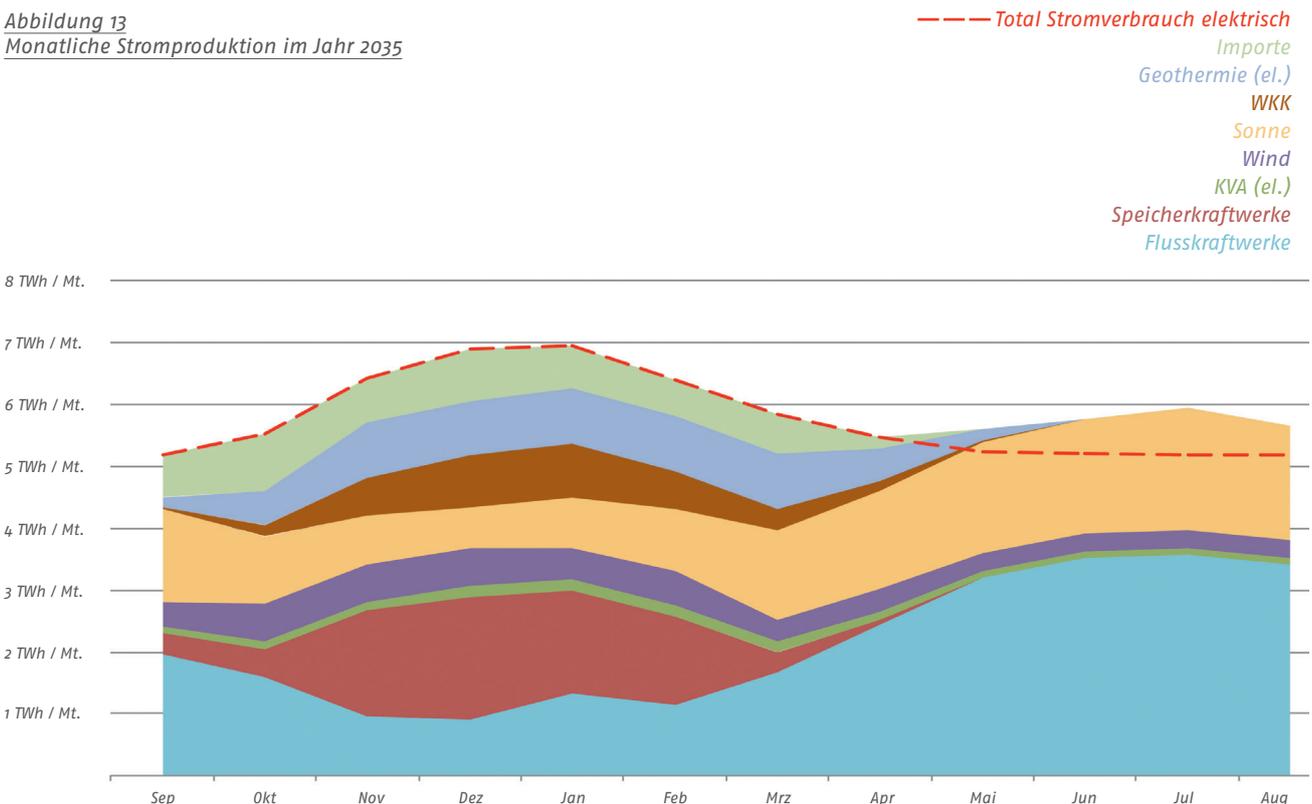
**8.3 STROMMARKT UND STROMMARKTMODELL**

Immer deutlicher zeigt sich, dass das heutige Strommarktmodell für eine zunehmende Stromversorgung aus erneuerbaren Quellen nicht optimal funktioniert. Seit einiger Zeit sinken die Preise auf den Strommärkten kontinuierlich, und auch aus den Strommarktprognosen lässt sich keine Trendwende ablesen. So liegt der Preis von Strom für das Jahr 2017, heute gehandelt, bei 50 Euro pro MWh. Gleichzeitig ist aber offensichtlich, dass keine Produktionstechnologie existiert, deren volle Kosten bei diesem Preis auch nur annähernd gedeckt sind. Typische Vollkosten liegen bei 100 Euro pro MWh 48, wobei die externen Kosten noch nicht berücksichtigt sind.

Diese Situation ist sowohl betriebswirtschaftlich wie auch volkswirtschaftlich problematisch. Sie führt dazu, dass die Kraftwerke veralten und die Volkswirtschaft bezüglich der Energiepreise einen falschen Anreiz erhält. Es wird jedoch nicht möglich sein, für diese Herausforderung eine Lösung zu finden, die isoliert in der Schweiz zur Anwendung kommt – eine Lösung muss europäisch verankert sein.

48 Agora Energiewende (2013), Erzeugungskostenrechner für Kohle-, Gas-, Wind- und Solar-Anlagen

Abbildung 13  
Monatliche Stromproduktion im Jahr 2035



Umfassende Analysen von swisscleantech legen den Schluss nahe, dass die Art der Preisbildung an den Strombörsen für dieses Phänomen verantwortlich ist. Zu erwarten ist, dass sich diese Situation bei einem zunehmenden Anteil an erneuerbaren Energien noch weiter akzentuiert. Die Studie zeigt<sup>49</sup>, dass dies unabhängig von der Art der Förderregime geschieht.

Im Wesentlichen orientiert sich die Strompreisgestaltung an den variablen Kosten der teuersten Technologie, die gerade noch benötigt wird, um den Bedarf zu decken. Steigt der Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion, nehmen Situationen zu, in denen diese den Preis bestimmen. Da die variablen Kosten der erneuerbaren Energien bei 0 Euro pro MWh liegen, lässt sich der Strompreiserfall problemlos erklären. Als Folge davon verschlechtert sich die Renditesituation für alle Arten von Kraftwerken – bei den Produzenten wird der Ruf nach Unterstützung laut.

Die Neuorganisation des Strommarkts ist keine einfache Aufgabe. Eine besondere Herausforderung ist dabei die Tatsache, dass die besten Lösungen nur auf europäischer Ebene gefunden werden können – denn Strom ist ein Gut, das innerhalb eines zusammenhängenden Netzes grenzenlos gehandelt wird. Erst recht gilt es daher für die Schweiz, die richtigen Weichen zu stellen und sich aktiv an der europäischen Diskussion zu beteiligen.

Schon heute aber lässt sich sagen, welche Erwartungen daran aus der Sicht der Energiewende gestellt werden müssen. Für swisscleantech ist es entscheidend, dass das neue Strommarktmodell die richtigen Preissignale übermittelt und damit Anreize für einen nachhaltigen Ausbau der erneuerbaren Energien setzt und einen effizienten Umgang mit Energie anregt.

Der Strommarkt der Zukunft muss deshalb als Erstes die externen Kosten (insbesondere die CO<sub>2</sub>-Kosten) widerspiegeln. Zweitens müssen die vollen Produktionskosten in die Preisbildung integriert sein. Dies bedeutet, dass auch die Refinanzierung der Investitionen über den Strompreis erfolgt. Schliesslich soll der Preis auch die Flexibilität und Versorgungssicherheit abbilden. In einer Übergangsphase sind Fördermechanismen gerechtfertigt.

Schon seit Jahren sind die Vollkosten<sup>50</sup> von Gas, Kohle, Kernkraft, Wasserkraft, Wind- und Solarenergie durch die Grosshandelspreise<sup>51</sup> nicht gedeckt. Rechnet man bei Gas- und Kohlekraftwerken die externen CO<sub>2</sub>-Kosten und bei Kernkraftwerken einen realistischeren Beitrag<sup>52</sup> für Risikoversicherung (an der unteren Grenze) und Entsorgung mit ein, öffnet sich die Schere zwischen Gestehungskosten und möglichem Ertrag an der Strombörse noch weiter. Die Grafik zeigt, dass bereits heute bei der Gestaltung des Strommarkts dringender Handlungsbedarf besteht. (dargestellt in Abbildung 14)

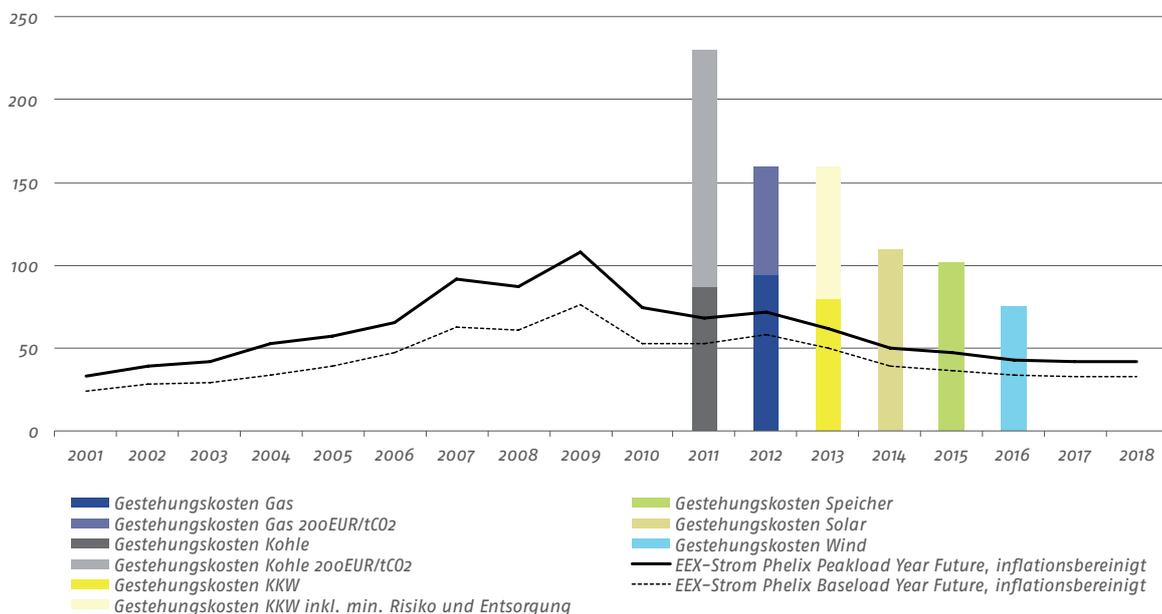
49 swisscleantech Hintergrundpapier Strommarkt, Strompreis und erneuerbare Energien Schon seit Jahren sind die Vollkosten

50 Agora Energiewende (2013), Erzeugungskostenrechner für Kohle-, Gas-, Wind- und Solar-Anlagen

51 www.eex.com

52 Schweizerische Energiestiftung (2013): Was der Atomstrom wirklich kostet

Abbildung 14  
Strompreisentwicklung und Vollkosten Stromerzeugung



## 9. WETTBEWERBSFÄHIGE WIRTSCHAFT

### 9.1 KOSTEN DER ENERGIEWENDE UND VOLKSWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

#### Kostenfaktoren

Die Kosten der Energiewende vorauszusagen, ist komplex und schwierig. Folgende Aspekte müssen dabei berücksichtigt werden:

- Reduktion der Kosten durch Einsparung von Energie
- Kosten von Investitionen in die effizientere Verwendung von Energie
- Kosten von Investitionen in einen neuen Kraftwerkspark
- Kosten von Investitionen in den Umbau des Netzes
- Umweltkosten für Bereitstellung und Verwendung von Energie
- Bei allen Kosten muss der Vergleich mit einem «Business-as-usual-Szenario» gezogen werden, sodass nur die effektiven Mehrkosten resultieren.

Eine Voraussage über 35 Jahre ist nicht einfach, insbesondere, was die Entwicklung der Technologien und der Preise anbelangt. So sind zum Beispiel die Modulpreise in der Photovoltaik allein in der Zeit zwischen 2006 und 2014 um den Faktor 3 gefallen.<sup>53</sup> Einen ähnlichen Entwicklungsschub gibt es momentan bei den Stromspeichern, bei denen die Leistungen steigen und gleichzeitig die Preise stark sinken.

Ein weiterer wichtiger Parameter ist die Lebensdauer von Anlagen und Installationen. So zeigt sich, dass viele Stromerzeugungsanlagen ein längeres goldenes Ende<sup>54</sup> haben, als ursprünglich angenommen. PV-Anlagen der ersten Generation leisten nach wie vor ihren Dienst und produzieren Strom, ohne Kosten zu erzeugen. Dasselbe gilt auch für Investitionen in Energieeffizienz: Werden Wärmedämmungen nicht ersetzt, sondern aufgefrischt, reduzieren sich die Kosten der Massnahme zusätzlich.

Die heute schon rentable Investition zahlt sich noch besser aus. Viele dieser Faktoren werden in Studien eher konservativ eingeschätzt. Ein von swisscleantech erstellter Vergleich von 13 Schweizer Energie- und Stromstudien<sup>55</sup> zeigt, dass die Energiewende keine nennenswerten negativen Auswirkungen auf Wohlstand und Wachstum hat. Ein 2013 veröffentlichte Studie im Auftrag der Schweizerischen Energiestiftung weist sogar eine Kostenreduktion gegenüber dem «Business-as-usual-Szenario» aus.<sup>56</sup>

#### Mehrkosten der Energiewende und volkswirtschaftliche Auswirkungen

Die Mehrkosten einer Energiewende betragen demnach, je nach Referenzszenario, maximal 50 bis 100 Mrd. Franken bis 2050. Dies sind jährlich ca. 2 Mrd. Franken während 40 Jahre.

In diesen «Nettokosten» sind aber gewichtige Zusatzeffekte der Energiewende noch gar nicht eingerechnet. Dazu gehören die Schaffung von Arbeitsplätzen, verminderte Risiken (nukleare Risiken, Risiken und Kosten des Klimawandels, Abhängigkeit vom Ausland), tiefere Gesundheitskosten sowie Know-how, Innovations- und Positionierungsvorteile.

Professor Lucas Bretschger (ETH Zürich) hat mittels eines Gleichgewichtsmodells einige dieser Faktoren in die Rechnung einbezogen und die Auswirkungen eines etappenweisen Ausstiegs aus der Kernenergie unter Beibehaltung einer ambitionierten Klimapolitik untersucht. Die Resultate der Studie<sup>57</sup> zeigen für alle untersuchten Szenarien – darunter auch die Cleantech Energiestrategie –, dass die Wohlstandsverluste gegenüber dem «Business-as-usual-Szenario» maximal 0.4% betragen. Das jährliche Wachstum fällt von durchschnittlich 1.28% pro Jahr auf 1.257% – ein Effekt, der im Vergleich zu den realen Schwankungen vernachlässigt werden kann.

<sup>53</sup> Bundesverband Solarwirtschaft (2014), Preisindex Photovoltaik

<sup>54</sup> Als goldenes Ende einer Anlage wird diejenige Lebensphase bezeichnet, in der die Anlage noch in Betrieb, aber bereits abgeschrieben ist.

<sup>55</sup> [www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POL/SCA\\_POL\\_Vergleich\\_2013\\_v07.pdf](http://www.swisscleantech.ch/fileadmin/content/POL/SCA_POL_Vergleich_2013_v07.pdf)

<sup>56</sup> Kurzfassung der Studie: [www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energiethemen/energiepolitik/ses-studie\\_kosten\\_kurzfassung\\_web.pdf](http://www.energiestiftung.ch/files/textdateien/energiethemen/energiepolitik/ses-studie_kosten_kurzfassung_web.pdf)

<sup>57</sup> Bretschger Lucas, Ramer Roger and Zhang Lin: Economic effects of a nuclear phase-out policy: A CGE analysis, Economics Working Paper Series 12/167, ETH Zurich.

Auch bei dieser Analyse wurden weder die Reduktion des Klimarisikos, noch die Reduktion des Risikos der Kernkraftwerke eingerechnet. Bei einer umfassenderen Betrachtung liesse sich somit sogar eine **positive volkswirtschaftliche Bilanz** ziehen. Ein BIP-Wachstumseffekt von – 0.5% bis + 2% stellt eine realistische Bandbreite dar.

### Strukturanpassungen

Die Studie von Bretschger zeigt weiter, dass der Ausstieg zu interessanten **Strukturveränderungen** führt, weil innovative Industrien, etwa die Maschinenindustrie oder die chemische Industrie, gefördert werden. Die Studie findet keine Indizien dafür, dass energieintensive Industrien verdrängt würden. Zwar ist ihr Wachstum weniger schnell als das Wachstum anderer Wirtschaftsbereiche, es ist jedoch nicht negativ. Dies entspricht einem Trend, der sich schon heute feststellen lässt: Geeignete Massnahmen der Politik – etwa die Entlastung von Energieabgaben bei gleichzeitiger Verpflichtung zur Effizienzsteigerung – können in diesen Industrien die Auswirkungen hoher Energiepreise mildern und zu mehr Wettbewerbsfähigkeit beitragen.

Der **Innovation** kommt gemäss der Studie eine zentrale Rolle zu. Der vielfach befürchtete Konflikt zwischen dem Atomausstieg und der Bekämpfung des Klimawandels lässt sich laut den Autoren nicht bestätigen. Der konzentrierte Ausbau der erneuerbaren Energien führt zu positiven Effekten in allen Bereichen der Innovation. Wird zudem eine hohe Flexibilität in der Verwendung der verschiedenen Energieträger erreicht (hohe Substituierbarkeit), wird sich dies positiv auf den Wohlstand auswirken. So setzt die Cleantech Energiestrategie etwa auf die Förderung der Elektromobilität, um diese Flexibilität zu erhöhen.

Auch der neue New Climate Economy Report (2014)<sup>58</sup> kommt zu ähnlichen Resultaten: Auch global gesehen ist ein ambitionierter Klimaschutz letztlich positiv für die Weltwirtschaft. Es gibt kein Dilemma zwischen Wirtschaftswachstum und Klimaschutz.

### Einordnung der Mehrkosten

Die Resultate der Studie sind für swisscleantech nicht weiter erstaunlich. swisscleantech geht davon aus, dass Stromeinsparungen im Bereich Geräte und Maschinen genauso wie Gebäudesanierungen bereits bei heutigen Energiepreisen betriebswirtschaftlich positive Erträge erbringen, vorausgesetzt, die Kosten werden korrekt auf die ganze Lebensdauer umgelegt. In diesem Fall beschränken

sich die Kosten der Energiewende auf die Netzausbaukosten – die zu einem substantiellen Teil auch ohne Wende anfallen würden – und auf die nicht amortisierbaren Mehrkosten der Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen. Dank der zu erwartenden Lernkurven sinken diese Kosten schnell und belaufen sich bis ins Jahr 2050 auf 80 Mrd. Franken oder im Schnitt auf 2 Mrd. pro Jahr. Vergleicht man dies etwa mit dem Wiederbeschaffungswert der technischen Infrastruktur der Schweiz von 830 Mrd. Franken<sup>59</sup> oder mit dem jährlichen Bruttosozialprodukt von 586 Mrd.<sup>60</sup>, zeigt sich: Die Energiewende ist **bezahlbar**.

Andererseits ist zu berücksichtigen, dass die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie **Investitionen** in der Grössenordnung von 210 Mrd. Franken in der Energieerzeugung auslösen wird. Diese Investitionen sind zu mindestens 50% in der Schweiz wirksam und schaffen hier Arbeitsplätze. Durch eine Vorreiterrolle im Energiebereich kann die Schweiz zudem von Konkurrenzvorteilen im internationalen Markt profitieren und ihre Positionierung als Cleantech Standort stärken.

### Strommarkt – eine organisatorische Herausforderung

Für die Cleantech Energiestrategie spielt die elektrische Energie eine zentrale Rolle. Umso wichtiger ist es, dass auch der Strompreis die wahren Kosten deckt. Doch wie in Kapitel 8.3 dargestellt, bildet der Strommarkt im Moment nur die variablen Kosten der Stromproduktion ab. Darin ist kein Anteil für die Refinanzierung der Anlagen enthalten.

Dies muss auch in der Beurteilung von allfälligen Mehrkosten, die durch die Energiewende entstehen, berücksichtigt werden. Wir weisen diese Mehrkosten deshalb im Vergleich zu den betriebswirtschaftlichen Vollkosten eines Referenzmodells aus. Ausserdem werden die externen Kosten, soweit dies heute bereits möglich ist, berücksichtigt. Die Höhe der Aufschläge der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) ist, entgegen der aktuell geführten Diskussion, jedoch kaum relevant für die Höhe der Mehrkosten. Sinkt nämlich der Strompreis unter die mittleren betriebswirtschaftlichen Vollkosten des Referenzmodells, steigt die KEV automatisch. Sie kompensiert dann aber nicht Mehrkosten des Systems der erneuerbaren Energien, sondern eine Fehlfunktion des Strommarktdesigns, das nicht dafür ausgelegt ist, die Vollkosten abzubilden. Dieses Problem betrifft somit auch das Referenzmodell.

<sup>58</sup> New Climate Economy: Better growth, better climate (2014) – Nachfolgepublikation des «Stern Report»: The economics of climate change (2006)

<sup>59</sup> Schalcher et al. (2011). Was kostet das Bauwerk Schweiz in Zukunft? Fokusstudie des NFP 54

<sup>60</sup> BFS, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung der Schweiz

Vor diesem Hintergrund gibt es erst recht keinen Anlass, den kombinierten Ausstieg aus den fossilen Brennstoffen und der Kernenergie auf morgen zu verschieben. Vielmehr wird ein späterer Ausstieg wesentlich schwieriger sein, wenn heute mit einem «Business-as-usual-Szenario» weitergefahren wird. Eine wichtige Voraussetzung für den Ausstieg ist es aber, dass die **politischen Rahmenbedingungen** frühzeitig und langfristig festgelegt werden.

## 9.2 FINANZIERUNG

Zur Finanzierung sollen grundsätzlich Instrumente angewendet werden, welche die **Vollkosten der Energieerzeugung** möglichst gut abbilden. Diese Vollkosten müssen für jede Energieform gemäss ihren externen Kosten individuell bestimmt werden.<sup>61</sup> Kosten, die nicht vollständig eingerechnet sind, tragen bis anhin die Gesellschaft und die Umwelt, respektive die nachfolgenden Generationen. Sie sollen neu in den Energiepreis eingerechnet werden. Besonders wichtig sind dabei eine adäquate Bewertung des CO<sub>2</sub>-Ausstosses und die Kosten für die Versicherung des Restrisikos der Kernenergie.

Wie bereits dargestellt, müssen mittelfristig aber auch Lösungen für das Strommarktdesign gefunden werden. Der Strommarkt muss so ausgestaltet sein, dass die Refinanzierung der Produktionsanlagen möglich ist und diese Investitionskosten über den Strompreis fair abgegolten werden.

Für die **kurzfristige Finanzierung** und den notwendigen engagierten Anschlag der Energiewende kann der bereits etablierte **KEV-Mechanismus** verwendet werden. Eine schrittweise Anhebung des Zuschlags für die KEV (Gesamtdeckel) auf maximal 3 Rappen<sup>62</sup> und eine Optimierung der Förderung ermöglichen den erforderlichen Zubau bei der erneuerbaren Energie. Bei der Gestaltung der Vergütungssätze sind die technischen Verbesserungen zu berücksichtigen, so lässt sich bei gleichbleibenden Finanzmitteln kontinuierlich mehr Kapazität erstellen. Der Zubau an neuen Kapazitäten muss stetig und voraussehbar vonstatten gehen. Die KEV-Beiträge bleiben aber gedeckelt und verhindern damit ein Übermass und zu hohe, langfristige Finanzverpflichtungen. Mit der Beibehaltung der einzelnen Teildeckeln wird ein effizienter Einsatz der Mittel angestrebt. So wie die KEV aktuell ausgestaltet ist, bietet sie jedoch wenig Anreiz zu einer marktdienlichen Produktion. Deshalb sind Verbesserungen sinnvoll, die eine nachfragegerechte Produktion fördern. Diese sind jedoch so zu gestalten, dass dadurch die Finanzierungskosten der Anlagen nicht unnötig erhöht werden.

Für die Grosswasserkraft sind vorläufig Investitionsbeiträge zu leisten, insbesondere für Erweiterungen und Erneuerungen.

Nebst dem Zubau bei den erneuerbaren Energien wird es notwendig sein, rasch und unbürokratisch in den **Aus- und Umbau der Netzinfrastruktur** zu investieren. Erste Berechnungen der swisscleantech zeigen, dass hier Kosten von rund 1 Rp./kWh über die nächsten 15 Jahre anfallen werden. Der Ausbau kann automatisch über die **Netzkosten** finanziert werden. swisscleantech fordert dafür in erster Linie mehr Transparenz bei den Netznutzungstarifen.

Ab 2021 soll ein langfristig geplanter Übergang von einem Fördersystem zu einer **Lenkung über den Preis** durchgeführt werden. Dabei gilt es zu beachten, dass höhere Energiepreise kurzfristig meist kaum einen Effekt haben, jedoch langfristig zu einer erheblichen Senkung der Energienachfrage führen. Deshalb muss der Umbau schrittweise erfolgen, und die Lenkungsmaßnahmen müssen langfristig angekündigt werden.<sup>63</sup>

Der Lenkungsmechanismus soll soweit möglich die unterschiedlichen Auswirkungen der verschiedenen Energieträger auf die Umwelt berücksichtigen, um sich kontinuierlich der Vollkostenrechnung zu nähern (vgl. dazu Kapitel 8.3).

Die Weiterführung des bestehenden Fördersystems, kombiniert mit einem sich graduell verschärfenden Lenkungssystem, stellt eine optimale Finanzierungslösung dar.

61 für die Grundlagen zur Bestimmung vgl. Tabelle 7

62 Bereinigt auf die betriebswirtschaftlichen Vollkosten des Referenzmodells

63 Die Preiselastizität der Energie ist kurzfristig sehr gering, liegt langfristig jedoch zwischen 0.6 und 1 für die Wirtschaftsnachfrage. Vgl. ETHZ (2011): [www.kof.ethz.ch/del/publikationen/p/kof-studien/2115/](http://www.kof.ethz.ch/del/publikationen/p/kof-studien/2115/)

Tabelle 7  
Vollkostenrechnung pro Energieform

ENERGIEQUELLE	EXTERNE KOSTEN
<b>KERNKRAFT</b>	Versicherung Unfallrisiko (langfristige Schäden), Lagerung, Transport, Verpflichtungen aus Lieferverträgen für Brennstäbe, Stilllegung (zur Zeit allesamt unzureichend finanziert)
<b>WASSERKRAFT</b>	Die Staudammrisiken sind unzureichend gedeckt. Schäden entstehen jedoch anders als bei der Kernkraft nur in lokaler und regionaler Grössenordnung und haben eine kurzfristige Wirkung. Zudem Auswirkungen auf die Biodiversität möglich.
<b>ERNEUERBARE ENERGIEN</b>	Bei Sonne, Wind und Biomasse gilt es den Einfluss auf die Biodiversität und den Landschaftsschutz zu berücksichtigen, ebenso die graue Energie sowie den Umgang mit Chemikalien bei der Produktion der Anlagen.
<b>FOSSILE ENERGIETRÄGER</b>	Bei den fossilen Energieträgern werden die negativen externen Kosten via CO <sub>2</sub> -Abgabe/-Kompensation im CO <sub>2</sub> -Gesetz bis 2020 zumindest teilweise internalisiert. Danach sollen die externen Kosten des Verbrauchs der Fossilen Energieträger im Rahmen der ökologischen Steuerreform eingerechnet werden. Längerfristig sollten auch die externen Kosten der Produktion der Energieträger einbezogen werden.

### 9.3 ENERGIEPREISE UND IHRE AUSWIRKUNGEN AUF DIE KONSUMENTEN

Im Vergleich zu anderen europäischen Ländern hat die Schweiz **heute günstige Energiepreise**. Strom ist real in den letzten 25 Jahren um durchschnittlich mehr als 25% günstiger geworden (spezielle Industrietarife müssen gesondert betrachtet werden). Entscheidend bei jeder Energiepreiserhöhung sind die Auswirkungen auf die Haushalte und die Gesamtwirtschaft.

Die notwendigen Aufschläge für die KEV führen bis 2035 zu einem durchschnittlichen **Anstieg des Strompreises** für Haushalte um ca. 25% und für Firmen um ca. 30%, je nach Stromtarif. **Für fossile Energieträger** wird ein ähnlicher Preisanstieg erwartet. Gleichzeitig werden die Energiepreise ab 2020 durch eine Lenkungsabgabe mitbestimmt. Hohe Preise setzen wichtige mittel- und langfristige Lenkungsimpulse hin zu einem sparsameren Verhalten. Kombiniert mit anderen Massnahmen, zum Beispiel Mindeststandards, wirken sie flächendeckend und führen zu signifikanten **Effizienzgewinnen**.

Für **energieintensive Branchen** können und müssen Ausnahmeregelungen vereinbart werden, damit diese Firmen in einer Übergangszeit – und speziell bezüglich Konkurrenz durch Importe sowie bei Exporten – nicht benachteiligt werden. Zu den energieintensiven Branchen werden üblicherweise diejenigen gezählt, bei denen die Energiekosten mehr als 10 Prozent der Bruttowertschöpfung betragen. Dazu gehören die Textil-, die Papier- und Kartonindustrie, die Glas- und Zementindustrie, die Metallindustrie sowie die Recyclingbranche. Im Jahr 2009 verbrauchten diese Branchen insgesamt 12.7 TWh Energie, davon 4 TWh Elektrizität, und stellten 6760 Arbeitsstätten mit 85 250 Arbeitsplätzen (Vollzeitbeschäftigte). Dies entspricht ca. 2.3% der rund 300 000 Unternehmen in der Schweiz und ca. 2.5% der total 3.4 Mio. Arbeitsplätze. Die energieintensiven Branchen benötigten zusammen 5.2% der schweizerischen Gesamtenergie und 6.7% des Stroms.<sup>64</sup> Diese Firmen sind von hohen Energiekosten stark tangiert und müssen gesondert behandelt werden.

<sup>64</sup> Bundesamt für Energie (2011), Energieverbrauch in der Industrie und im Dienstleistungssektor

*Für die Mehrheit der Unternehmen machen die Energiekosten jedoch einen kleinen Teil der Bruttowertschöpfung aus. Gemäss einer Umfrage von Swissmem bei 140 Schweizer Unternehmen machen die Energiekosten bei über zwei Dritteln weniger als 2% aus. In 15 der befragten Unternehmen werden diese Kosten gar nicht erst erhoben.<sup>65</sup> Die vorhandene grosse Preiselastizität lässt uns deshalb schliessen: Eine Erhöhung der Energiekosten wird nur dazu führen, die Firmen für die Zukunft fit zu machen.*

*Wir rechnen mit einer Zunahme der Prozessindustrie um 10% bis 2050 bei einer gleichzeitigen Steigerung der Effizienz um 20% (vgl. Tabelle 1). Es findet also keine Abwanderung der energieintensiven Branchen ins Ausland statt, und es ist somit auch nicht mit einer indirekten Erhöhung des Schweizer Schadstoffausstosses durch eine weniger effiziente Produktion im Ausland zu rechnen (Carbon-leakage-Effekt).*

*Der jährliche Stromverbrauch eines Haushalts (4 Personen) in einem Mehrfamilienhaus ohne Elektroboiler beträgt in der Schweiz heute durchschnittlich 4000 kWh. Ein Aufpreis von ca. 3 Rp./kWh (15%) verursacht monatliche Mehrkosten von rund 11 Franken pro Haushalt. Der Effekt einer Lenkungsabgabe auf das Haushaltsbudget wäre – dank der Rückverteilung – letztlich marginal.*

<sup>65</sup> Swissmem (2012), Umfrage zur Energiestrategie 2050, Stromkosten und Versorgungssicherheit

## 10. RESSOURCENVERBRAUCH

Der in der Cleantech Energiestrategie beschriebene Ausstieg aus der Kernenergie sowie die Abkehr von fossilen Energieträgern und ihr Ersatz durch die Nutzung erneuerbarer Energieformen weisen den Weg in eine emissionsarme Zukunft mit geringen nuklearen Risiken. Doch auch wenn hauptsächlich erneuerbare Energien genutzt werden, erfolgt die Energiegewinnung nicht ohne Auswirkungen auf die Umwelt, weil zum Aufbau der dazu benötigten Infrastruktur erhebliche Mengen an Ressourcen beansprucht werden.

Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung werden die Herausforderungen, die aus der Bereitstellung der benötigten Ressourcen entstehen, im Folgenden kurz dargestellt. Im Vordergrund stehen kritische Metalle, das Klima und die Biodiversität.

### 10.1 KLIMAWANDEL

Zwar minimiert der in dieser Strategie angestrebte Ersatz von fossilen Energieträgern durch erneuerbare Energieformen die direkten Treibhausgasemissionen aus der Energiegewinnung. Doch für die Herstellung von Solarzellen, Windturbinen, Geothermieanlagen oder Batterien für die Elektromobilität sind energie- und ressourcenintensive Prozesse nötig, die ihrerseits Treibhausgasemissionen verursachen. Für die Umsetzung der Cleantech Energiestrategie werden im Zeitraum von 2010 bis 2050 Treibhausgasemissionen von insgesamt rund 55 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten geschätzt – was etwa dem aktuellen Ausstoss der Schweiz in einem Jahr entspricht. Eine Hochrechnung ergibt aber, dass die Umsetzung insgesamt eine substantielle Reduktion des Treibhausgasausstosses ergibt. Diese Aussage gilt selbst dann, wenn die nötigen Technologien überall auf der Welt gemäss der Cleantech Energiestrategie ausgebaut werden. Würde die weltweite Energieproduktion im Zuge der Umsetzung weitgehend auf erneuerbare Energien umgestellt, würden auch die Treibhausgasemissionen aus der Produktion der benötigten Anlagen sinken. Dies würde die Wirkung der Transition noch verstärken.

### 10.2 METALLE

Die zur Nutzung erneuerbarer Energien verwendeten Technologien erfordern zahlreiche Metalle. Neben den gängigen Massenmetallen Eisen, Stahl, Kupfer oder Aluminium werden auch diverse Edel- und Spezialitätmetalle<sup>66</sup> wie Silber, Gold, Indium, Gallium, Tellur oder seltene Erden benötigt. Diese Metalle sind verhältnismässig rar und werden heute nur in geringen Mengen gefördert. Deshalb muss sorgfältig analysiert werden, ob es zu Engpässen kommen kann, wenn der Bedarf infolge des Ausbaus der erneuerbaren Energien stark ansteigt. In den letzten Jahren haben sich die verfügbaren Mengen der meisten Metalle vergrössert, da neue Vorkommen entdeckt wurden oder höhere Preise den Abbau von Erzen geringerer Qualität ökonomisch rentabel werden liessen. So sind beispielsweise die globalen Kobaltressourcen im Zeitraum von 1994 bis 2012 von 11 auf 25 Mio. Tonnen gestiegen, obwohl die jährliche Fördermenge im gleichen Zeitraum um 550% gewachsen ist.<sup>67</sup>

Um beurteilen zu können, welche Mengen an metallischen Rohstoffen für die Umsetzung der Energiestrategie benötigt werden, hat swisscleantech den Bedarf der besonders ressourcenintensiven neuen Technologien Photovoltaik und Windenergie sowie der Elektromobilität abgeschätzt. Diese Berechnungen zeigen, dass sich der für diese Anwendungen benötigte kumulierte Rohstoffbedarf der Schweiz bis 2050 im Bereich von weniger als 50% der jeweiligen weltweiten Produktion eines einzigen Jahres bewegt (Basis 2012).<sup>68</sup>

Entscheidend ist jedoch, ob die unsere Energiestrategie kompatibel ist mit einer weltweiten nachhaltigen Entwicklung. Es stellt sich also die Frage, ob genügend Ressourcen zur Verfügung stünden, wenn die beschriebenen Technologien so weit ausgebaut würden, dass der weltweite Pro-Kopf-Energieverbrauch vergleichbar hoch wäre, wie in der Schweiz.

<sup>66</sup> Metalle, die in relativ kleinen Mengen für technologiespezifische Zwecke verwendet werden

<sup>67</sup> U.S. Geological Survey

<sup>68</sup> Einzige Ausnahme bildet Lithium, von dem heute im Vergleich zum zukünftigen Bedarf sehr geringe Mengen gefördert werden.

Bei einer Hochrechnung auf den so definierten, weltweiten Bedarf zeichnen sich für einige Metalle durchaus mögliche Versorgungs-schwierigkeiten ab.<sup>69</sup> Während die gängigen Massenmetalle wie Eisen, Stahl, Kupfer, Aluminium, Blei als unkritisch bezeichnet werden können, würden viele der Spezialitätenmetalle für Photovoltaik, Windenergie und Elektromobilität in Mengen benötigt, die in der Grössenordnung der geschätzten verfügbaren Ressourcen liegen. Obwohl die heute bekannten Ressourcenmengen keine Obergrenzen der Verfügbarkeit im absoluten Sinn darstellen, müssen diese Metalle dennoch als kritisch bezeichnet werden.<sup>70</sup> Dabei handelt es sich um Metalle, die in Solarzellen (zum Beispiel Gallium), in der Batterieherstellung (Lithium) oder in Permanentmagneten für Elektromotoren (Neodym) eingesetzt werden. Man kann jedoch davon ausgehen, dass für sehr viele dieser Anwendungen technischer Ersatz gefunden werden kann. So lässt sich zum Beispiel das in Displays und vielen Solarzellen benötigte Indiumzinnoxid mit nur geringen Leistungseinbussen durch aluminiumdotiertes Zinkoxid ersetzen. Dies wird, zusammen mit einem möglichst effizienten Recycling, die Knappheit verringern.

Es lässt sich deshalb festhalten, dass die Versorgungssicherheit mit Spezialitätenmetallen bei der Umsetzung der vorliegenden Strategie zwar durchaus eine Herausforderung darstellt. Doch bewegt sich der geschätzte Bedarf in derselben Grössenordnung wie die bekannten Ressourcenmengen, sodass eine drohende Knappheit mit frühzeitigen Massnahmen wie technologischer Weiterentwicklung, Substitution von kritischen Materialien und vor allem effizientem Recycling verhindert werden kann.

### 10.3 BIODIVERSITÄT

Vielfältig sind auch die Auswirkungen der Umsetzung der Cleantech Energiestrategie auf die Biodiversität. Da Windturbinen ausserhalb von geschützten Gebieten konzentriert und Photovoltaikanlagen vorwiegend auf Dächern und zunehmend an Fassaden realisiert werden sollen, stehen vor allem die Auswirkungen der Biomassenutzung und der Wasserkraft im Vordergrund. Die Potenziale der Biomassenutzung wurden in der Energiestrategie so gewählt, dass keine Übernutzung stattfindet und auch keine Nahrungsmittelproduktion verdrängt wird. Der weitere Ausbau der Wasserkraft wird zurückhaltend angegangen. Auf schonende Umsetzung und gegebenenfalls sogar eine Optimierung der aktuellen Situation muss dennoch besonderes Gewicht gelegt werden.

<sup>69</sup> Nicht berücksichtigt ist bei diesen Überlegungen, dass in anderen geografischen Regionen der Welt die Technologien zur Gewinnung erneuerbarer Energie in unterschiedlichem Ausmass Anwendung finden werden (zum Beispiel mehr Wasserkraft in der Schweiz als in den Niederlanden, mehr Offshore-Windkraft in Deutschland als in der Schweiz).

<sup>70</sup> Als kritisch werden Materialien bezeichnet, bei denen eine Verknappung absehbar ist, und die nicht einfach substituierbar sind. Tritt eine Verknappungssituation ein, ist mit erheblichen Kostensteigerungen und Verteilungskämpfen zu rechnen.

# 11. SCHLUSSFOLGERUNGEN

## 11.1 RESULTIERENDE POSITIONIERUNGEN

Eine sichere, wirtschaftlich attraktive und nachhaltige Energieversorgung ist möglich:

- Der Strombedarf wird steigen.
- Energie wird teurer.
- Statt Gas wird Grünstrom importiert.
- Es ist wichtig, die zentrale Rolle der Speicherung und der Netze zu anerkennen.
- Ein geordneter Atomausstieg verlangt geregelte KKW-Laufzeiten und weiterhin Forschung.
- Ab 2021 braucht es eine umfassende Energielenkungsabgabe.
- Die Energiewende lohnt sich auch im Alleingang.

Die Resultate unserer Analysen zeigen, dass die Ziele der Cleantech Energiestrategie technisch machbar und wirtschaftlich tragbar sind. Nun braucht es koordinierte Massnahmen und ein gemeinsames Engagement aller Akteure, um die Energiewende konsequent und wirtschaftsfreundlich umzusetzen.

Der Strombedarf wird steigen

Anders als andere Studien geht die Cleantech Energiestrategie von einem kontinuierlich steigenden Strombedarf von heute ca. 60 TWh auf ca. 70 TWh im Jahr 2050 aus. Anders als andere Studien prognostizieren wir grössere Potentiale in der Elektromobilität und in den erneuerbaren Energien. Ein höherer Stromverbrauch wird es auch erlauben die vorhandenen Effizienzpotentiale auszuschöpfen. Dank dem geringeren Anteil fossiler Energien können die CO<sub>2</sub>-Ziele trotz höherem Stromverbrauch erreicht werden. Im Gegensatz dazu verfolgt das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft eine Beschränkung des Energieverbrauchs – unabhängig von den CO<sub>2</sub>-Emissionen und vom Anteil erneuerbarer Energien. Für swisscleantech ist das 2000-Watt-Ziel eine symbolische Zielgrösse. Real wird für 2050 von einem Pro-Kopf-Verbrauch von rund 3500 Watt ausgegangen. Für swisscleantech steht das Ziel einer 1-Tonnen-CO<sub>2</sub> Gesellschaft bis 2050 im Vordergrund. Steht genügend erneuerbarer Energie zur Verfügung, kann diese auch dann realisiert werden, wenn der Verbrauch höher ist als 2000 Watt.

### Energie wird teurer

In Zukunft steht nebst dem Preis die Qualität der Energie im Vordergrund. Anstrengungen bei der Energieeffizienz führen zudem dazu, dass die Energiekosten trotz höherer Energiepreise kaum steigen. Letztlich haben höhere Energiepreise zur Folge, dass Investitionen schneller getätigt werden und sich somit die Wertschöpfung schneller ins Inland verlagert. Davon profitiert der Werkplatz Schweiz. Der Kapitalabfluss in erdölexportierende Länder wird reduziert. Gesamtwirtschaftlich sinnvolle Energiepreise dürfen nicht durch die Minderheit der energieintensiven Branchen verhindert werden. Für sie sind in einer Übergangsphase Ausnahmeregelungen sinnvoll und möglich.

### Statt Gas wird Grünstrom importiert

Die Cleantech Energiestrategie rechnet nicht ohne Erdgas, aber ohne neue grosse und zentrale Gaskraftwerke (GUDs). In Monaten mit knappem Energieangebot soll anstelle von Gas aus GUDs in erster Linie Grünstrom importiert werden. Der in Zukunft importierte Strom kommt aus Ländern mit tiefen politischen Risiken – ganz anders als die fossilen Energieträger, die aus Ländern mit hohen politischen Risiken stammen. Die vorhandenen europäischen Windstrompotentiale sind gross genug, um auch im Winter genügend Strom zur Verfügung zu stellen. Strom lässt sich national wie auch international zertifizieren und kann so nachweislich aus erneuerbaren Quellen bezogen werden. Wichtig sind ein engagierter Ausbau und die Sicherstellung der internationalen Netzinfrastruktur. Eine Vielzahl der Mitglieder von swisscleantech investiert bereits heute im Ausland in erneuerbare Energien.

Sollte sich dennoch eine Verknappung abzeichnen, ist der Bau eines GUD als Absicherung denkbar. Die Planungs- und Bauzeit solcher Werke ist kurz. Allerdings muss der CO<sub>2</sub>-Ausstoss gemäss dem CO<sub>2</sub>-Gesetz kompensiert werden. Keinesfalls darf sich eine neue Energiepolitik auf GUDs ausrichten. Langfristig zeichnet sich ein Ersatz von Erdgas durch Methan ab, das mit Strom aus erneuerbaren Quellen hergestellt wird. Die konkreten Auswirkungen dieser Technologie müssen aber noch genauer beurteilt werden.

### Es ist wichtig, die zentrale Rolle der Speicherung und der Netze anzuerkennen

Die Pumpspeicherung und der gezielte Einsatz der Speicherseen werden zur entscheidenden Schaltstelle für die Versorgungssicherheit der Schweiz. Sie tragen damit auch zur Netzstabilisierung in Europa und bei. Das Erstellen und der Ausbau der entsprechenden Werke bedeuten kostspielige Vorinvestitionen. Mithilfe von geeigneten Massnahmen, zum Beispiel Risikogarantien, muss sichergestellt werden, dass diese Kapazitäten tatsächlich realisiert und im Sinn der Gesamtstrategie eingesetzt werden. Für die kurzzeitige Speicherung werden aber in Zukunft auch dezentrale Speicher eine wichtige Rolle spielen. Gleichzeitig müssen die Netze in der Lage sein, die Speicher in geeigneter Art und Weise ins Netz zu integrieren, so dass ein optimaler Nutzen entsteht.

### Ein geordneter Ausstieg verlangt geregelte KKW-Laufzeiten und weiterhin Forschung

Unsere Überlegungen zeigen, dass ein geordneter Ausstieg aus der Kernenergie machbar ist. Um die Planbarkeit für die Wirtschaft und die Umsetzung der Energiewende zu gewährleisten, soll die Abschaltung der Schweizer Kernkraftwerke geregelt werden. Es muss klar sein, wie lange mit wie viel Kernkraft gerechnet werden kann und soll. Nur so kann man Investitionen in Effizienz, erneuerbare Energien und intelligente Netze einerseits und Nachrüstungen von KKW's andererseits gegeneinander abwägen und Massnahmen zur Effizienzsteigerung sowie Lenkungsinstrumente sinnvoll festlegen. Mit der von swisscleantech erarbeiteten Lösung wird zusätzlich die Sicherheit insgesamt entscheidend erhöht. Gleichzeitig soll die Forschung in den Bereichen nukleare Sicherheit, Entsorgung, Lagerung und neue Reaktortechnologien weitergeführt werden. Die der Energieforschung gesamthaft zur Verfügung stehenden Fördermittel werden jedoch erhöht und verstärkt für Effizienz, erneuerbare Energien und Netze alloziert.

### Ab 2021 braucht es ein umfassendes Klima- und Energielenkungssystem

Die Energielenkungsabgabe ist ein wichtiges Instrument, um die Energiewende auf möglichst marktwirtschaftlichem Weg umzusetzen. Sie lenkt den Energieverbrauch

über einen höheren Energiepreis und belohnt so alle, die Energie sparen. Gleichzeitig müssen auch ökologisch falsche Anreize abgeschafft werden (zum Beispiel Pendlerabzüge). Eine Energielenkungsabgabe ist im Gegensatz zu anderen Förderinstrumenten eine liberale und kostengünstige Lösung. Da die Preiselastizität bei der Energie kurzfristig gering, aber auf lange Sicht hoch ist, ist es sinnvoll diesen Weg möglichst schnell einzuschlagen.

### Die Energiewende lohnt sich auch im Alleingang

Die Resultate des Center of Economic Research der ETH Zürich zeigen, dass die Energiewende, wenn überhaupt, nur minimale Wohlstandsverluste mit sich bringt. Die befürchteten Kosten werden durch Innovationen und Investitionen wettgemacht. Die Wertschöpfung fällt im Inland und nicht mehr in den ölexportierenden Ländern an. Rechnet man zusätzlich die bisher nicht berücksichtigten Kosten der Kernenergie, die vermiedenen Umweltkosten sowie die Positionierungsvorteile der Wirtschaft im internationalen Markt mit ein, resultieren aus der Energiewende sogar positive volkswirtschaftliche Auswirkungen für die Schweiz. Es ist richtig, dass in einer Anfangsphase gewisse Standortnachteile gegenüber dem Ausland entstehen können. Diese sind jedoch temporär und werden, wie bereits beschrieben, durch Innovation und Investition mittelfristig behoben. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die Tatsache, dass internationale Abkommen in Bereichen wie Klima oder nukleare Sicherheit nur zustande kommen, wenn ausgewählte Akteure bereit sind, eine Vorreiterrolle zu übernehmen, und den Weg für andere, weniger Privilegierte ebnen.<sup>71</sup> Wer soll eine Energiewende unter Einhaltung der Klimaziele umsetzen, wenn nicht die Schweiz?

## 11.2 DAS MASSNAHMENPAKET

Verschiedenste Massnahmen sind in jeder der vier Säulen der Cleantech Energiestrategie gefordert. Priorität haben **marktorientierte** Massnahmen, die durch die richtige Preisbildung die gewünschten, «richtigen» Anreize setzen. Weitere Kriterien sind Transparenz und Planbarkeit für Unternehmen, hohe Kosteneffizienz, wenig Bürokratie sowie Haushaltsneutralität.

<sup>71</sup> Swisscleantech wird in Kürze ein Papier zu einer globalen CO<sub>2</sub>-Steuer veröffentlichen

**Tabelle 8**  
**Übersicht über das Massnahmenpaket der Cleantech Energiestrategie**

Es werden drei Massnahmetypen unterschieden  
K = Kurzfristig (bis 2015 wirksam), M = Mittelfristig (bis 2020), L = Langfristig (ab 2021).

	MASSNAHME	K / M / L
<b>NACHFRAGE- ENTWICKLUNG UND ENERGIEEFFIZIENZ</b>	Verbot und Ersatz von Elektroheizungen und -boilern	K / M
	Verschärfte Gebäudeenergievorschriften und Erhöhung der Sanierungsrate von Gebäuden nach SIA-380/l. Breitere Anwendung der Regelungstechnik in Gebäuden. Steuererleichterungen für Investitionen in Liegenschaften.	K / M / L
	Progressive Verschärfung der Effizienzvorschriften für Lampen und Geräte sowie Labels (in der bekannten A-F-Klassifizierung) in den Bereichen, in denen diese noch nicht existieren (zum Beispiel IT)	K / M
	Einbindung der EVUs, insbesondere der Stromverteiler in Effizienzmassnahmen	K / M
	Ausbau und Vereinheitlichung von Zielvereinbarungen und Abgabebefreiung (CO <sub>2</sub> und Stromeffizienz)	K
	Förderung der Energieeffizienz beim Verkehr (Motoreffizienz, Mindeststandards, Modalsplit, Mobility Pricing etc.)	M
	Nationale Elektromobilitätsstrategie	M
	Einführung Klima- und Energielenkungssystem, inkl. Abgaben auf CO <sub>2</sub> -Ausstoss und Risiken der Kernkraft (Graustromabgabe)	M / L
	Energieplanung und Raumplanung (kombinierte Energie-, Raum- und Verkehrsplanung)	M / L
	<b>ENERGIEANGEBOT IN HOHER QUALITÄT</b>	Finanzierung zum Einstieg ins Cleantech Energiezeitalter: Abgabe via KEV-Mechanismus
KEV: Anhebung und Optimierung der Förderung		K
Verbesserung der Rahmenbedingungen für Geothermie und WKK (via Verbundnetze, Anergienetze etc.)		K
Laufzeiten-Regelung für die bestehenden Kernkraftwerke		
Wasserkraft: Investitionsbeiträge für Grossanlagen; Erweiterung KEV für Wasserkraft		K / M
<b>INTELLIGENTE VERTEILUNG UND SPEICHERUNG</b>	Internationale Anbindung: Abschluss von Stromversorgungsabkommen mit der EU, Strategie: Schweiz als Drehscheibe, Stabilisator und Batterie für Mitteleuropa, Schweiz als Zentrum und Investor in Hochspannungsnetz-Verbindungen	K / M / L
	Verursachergerechte Tarifierung	K / M
	Nationales Programm zur Etablierung eines Smart Grid	K / M
	Nationales Koordinationsprogramm «Stromspeicherung», Definition von Finanzierungsmechanismen nach volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten	M / L
	Dezentraler Netzausbau: Kapazitätserhöhung, Unterbodenlegung aller neuen Leitungen (inkl. Ersatz und Erneuerung)	M / L
	Engagement der Schweiz für ein langfristig tragfähiges Strommarktmodell mit Vollkosten	M
<b>WETTBEWERBS- FÄHIGE WIRTSCHAFT</b>	Einfachere und schnellere Bewilligungsverfahren für erneuerbare Energien (insbesondere für Solar und Wind)	K
	Förderung der Forschung zu Effizienz, erneuerbarer Energie, Distribution und Speicherung	K
	Umschulung zur Rekrutierung zusätzlicher Fachkräfte	K
	Verstärkung der Programme «Energie Schweiz» und «Energienstadt»	K
	Förderung von Public Private Partnership – Projekten	K
	Instrument der Wettbewerblichen Ausschreibungen stärken	M
	Qualitätszertifizierung und Quellennachweis bei allen Energieformen	M
	Schaffung eines liberalisierten Energiemarkts (Anbieterwahl)	M
	Einbindung des Kapitalmarkts (verschiedene Massnahmen, zum Beispiel Pensionskassen als Investoren in nachhaltige Infrastrukturen und Gebäude)	M / L
	Ökologische Steuerreform	L



