

# Das inländische Potenzial der neuen erneuerbaren Energien in der Schweiz

## Einschätzung des Energie-Triologs Schweiz (ETS)

Das zu erwartende Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien kann, nach Einschätzung des Energie-Triologs Schweiz (ETS), bis 2050 bei dezidiertem Förderung einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung der Schweiz leisten. Trotz stark erweitertem Angebot erneuerbarer Energie und der Ausschöpfung der Effizienzpotenziale bleibt aber eine Lücke zwischen geschätztem Bedarf und erwartetem Angebot, sollte die Schweiz auf Grosskraftwerke verzichten.

Fokus ist die Zusammenarbeit mit der EU.

Die Quantifizierung und Gewichtung dieser vier Säulen ist noch weitgehend zu klären und stellt eine Motivation für den ETS dar, wohl wissend, dass das Bundesamt für Energie und andere Organisationen viele Fakten zusammengetragen haben. Eine weitere Motivation des ETS ist die Versachlichung der Diskussion über die Potenziale der neuen erneuerbaren Energien sowie von Energieeffizienz. Dabei gilt es aber nicht nur, den Strom im Auge zu behalten, sondern auch den Wärmebedarf sowie die Mobilität.

Wie dringend diese Arbeiten angegangen werden müssen, zeigte sich im Laufe der Arbeiten, die im Jahr 2007 gestartet worden sind. So stellten sich im letzten Jahr bei der Anpassung der kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) für erneuerbaren Strom viele Fragen, die für breite Kreise von Interesse waren und sind.

### Philipp Dietrich, Tony Kaiser, Alexander Wokaun

Die Neuausrichtung der Energiepolitik, die der Bundesrat im Februar 2007 eingeleitet hat, will der drohenden Energieversorgungslücke entgegentreten und Beiträge zu den CO<sub>2</sub>-Reduktionszielen liefern.

Die Ausrichtung umfasst Aktivitäten in vier Bereichen.

- Steigerung der Energieeffizienz: Durch den gezielten Einsatz neuer Technologien und durch ein bewusstes, energiesparendes Konsumverhalten kann – bei gleichem Nutzungskomfort – die eingesetzte Ressource reduziert werden.
- Ausbau der erneuerbaren Energien: Die Nutzung der Wasserkraft zur Stromerzeugung soll massvoll unter

der Berücksichtigung konkurrierender Interessen ausgebaut werden. Die anderen erneuerbaren Energieformen sollen langfristig einen vertretbaren Beitrag im Wärme-, Strom- und Transportbereich leisten.

- Grosskraftwerke: Durch den Bau von Grosskraftwerken soll die Verfügbarkeit von Strom gewährleistet werden, der zu konkurrenzfähigen Kosten erzeugt werden kann. Dabei sind bei Gaskombikraftwerken die CO<sub>2</sub>-Emissionen vollständig zu kompensieren.
- Energieaussenpolitik: Eine Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit kann die Handelsbarrieren senken und so den Zugang zu grösseren Märkten erleichtern. Speziell im

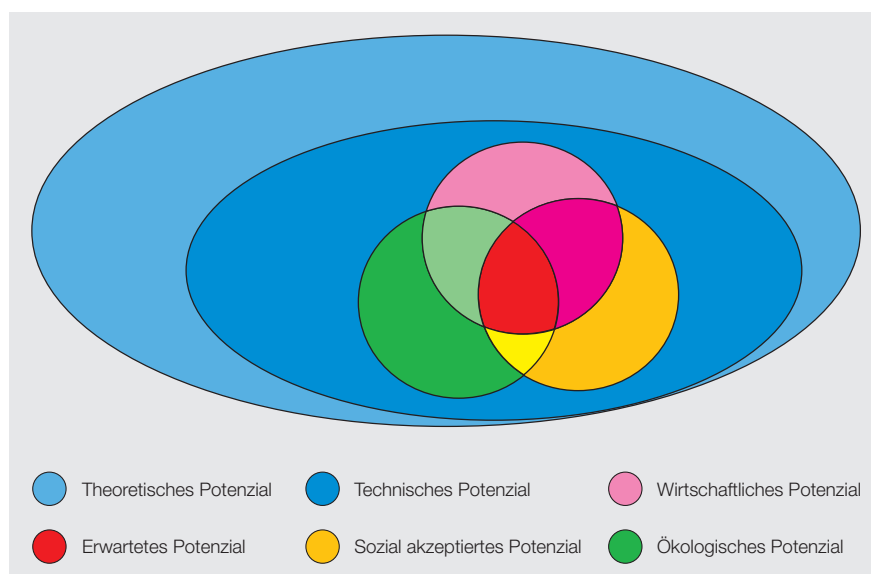
### Analyse der Studien

Der ETS hat die verfügbaren Schätzungen zum Ausbaupotenzial der erneuerbaren Energien in der Schweiz – also der inländischen Potenziale – studiert und verglichen [1, 2]. Die detaillierte Originalliteratur ist in [1] und [2] referenziert. Da die Studien mit verschiedenen Potenzial-Definitionen (theoretisches, technisches, wirtschaftliches, ökologisches und erwartetes Potenzial) arbeiten und den Schätzungen auch unterschiedliche Annahmen zugrunde gelegt wurden, hat der ETS als Basis für die vergleichende Analyse und Darstellung das erwartete Potenzial gewählt. Als Schnittmenge aller Potenziale stellt es die für die künftige Energieversorgung aussagekräftigste Grösse dar (Bild 1).

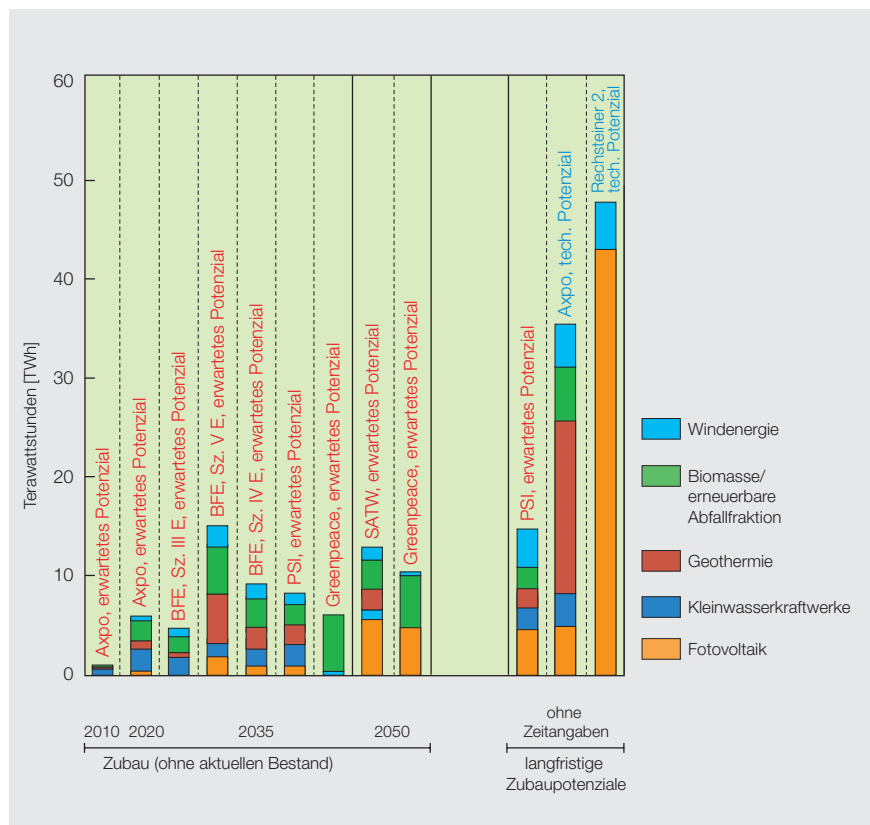
Bild 2 zeigt summarisch die inländischen Potenziale der Stromproduktion aus Fotovoltaik, Kleinwasserkraft, tiefer Geothermie, Biomasse und Windenergie je nach Studie. Für die einzelnen Technologien ergeben sich die folgenden Beobachtungen.

### Fotovoltaik

Obwohl Strom aus photovoltaischen Zellen immer noch die teuerste Strom-



**Bild 1** Potenzialbegriffe – das erwartete Potenzial ist die Schnittmenge aller Potenziale.



**Bild 2** Inländische Potenziale der Stromproduktion aus Fotovoltaik, Kleinwasserkraft, tiefer Geothermie, Biomasse und Windenergie im Szenarienvergleich, 2010–2050.

Die Balken stellen die aufsummierten zukünftigen Stromerzeugungs-Potenziale (Zubau) aus Fotovoltaik, Kleinwasserkraftwerken, Geothermie, Biomasse/erneuerbare Abfallfraktion und Windenergie zu den Zeitpunkten 2010, 2020, 2035 und 2050 dar. In der Kategorie «ohne Zeitangaben» werden längerfristige Potenziale angegeben

quelle darstellt, wächst der Markt stark. Die Erwartungen an die zukünftige Kostenreduktion sind hoch. Die Prognosen des zu erwartenden (zusätzlichen) Fotovoltaik-Potenzials bewegen sich bis 2035 zwischen 0,1 und 2,7 TWh, bis 2050 zwischen 0,2 und 9,7 TWh. Die Studien gehen also für 2035 von einer Versechsfachung bis mehr als einer Verhundertfachung des 2006 genutzten Fotovoltaik-Stroms (0,02 TWh) aus. Bis 2050 wird gegenüber 2035 ein weiterer Anstieg erwartet; er wird in einer Bandbreite vom 10- bis 500-Fachen der heutigen Produktion geschätzt. Längerfristig werden von einzelnen Studien noch weit höhere (technische oder ökologische) Potenziale gesehen; sie liegen im Bereich von 20–50 TWh pro Jahr, also in der Grössenordnung der heutigen Stromerzeugung mit Wasserkraft oder Kernkraft.

### Windenergie

Windenergie gilt gegenwärtig bereits als reife, ökonomisch in vielen Fällen konkurrenzfähige Technik mit einem hohen Entwicklungspotenzial. Die Investitionskosten zur Erzeugung einer be-

stimmten jährlichen Menge an Windenergie konnten zwischen 1990 und 2004 mehr als halbiert werden. Gleichzeitig wurden auch die Effizienz, die Zuverlässigkeit und die Leistung von Windturbinen verbessert. Die Gestehungskosten der Windenergie liegen heute im unteren Bereich der Kleinwasserkraft, hängen jedoch stark vom Standort ab. Limitiert wird die wirtschaftliche Nutzung der Windenergie in der Schweiz durch die beschränkte Anzahl guter Standorte. Zusätzlich einschränkend wirken die Akzeptanz der Bevölkerung und die Anliegen des Landschaftsschutzes. Heute sind 13 Anlagen in Betrieb, die jährlich rund 0,02 TWh produzieren. Rund 90 weitere Anlagen sind in Planung. Eine Produktion von 2 TWh pro Jahr würde die Installation von rund 1000 Windrädern bedeuten.

Für die Stromgewinnung aus Windenergie erwarten die Studien bis 2035 zusätzliche 0,6–2,2 TWh, wodurch die heutige Menge an genutztem Windstrom (0,02 TWh) um rund das 40- bis 100-Fache ergänzt würde. Für 2050 werden zusätzliche Potenziale zwischen 0,4 und

4 TWh vorausgesagt. Längerfristig werden, wenn nicht das erwartete, sondern das technische Potenzial betrachtet wird, Strommengen zwischen 4 und 22 TWh geschätzt.

### Kleinwasserkraft

Die Technik der Kleinwasserkraft ist heute reif. Die Kosten für renovierte Anlagen und Neuanlagen liegen im Bereich von 12–50 Rp./kWh und sind vergleichbar mit den Kosten für die Stromproduktion aus Wind oder Biogas. Die Grenzen für die Kleinwasserkraft werden durch den Gewässerschutz sowie den Natur- und Landschaftsschutz gesetzt. Weitere Einflussfaktoren, die sich auf das erwartete Potenzial der Kleinwasserkraft auswirken, sind noch ausstehende Entscheide zur Gewässerschutzgesetzgebung sowie allfällige Veränderungen beim hydrologischen Regime aufgrund des Klimawandels.

Die verschiedenen Studien prognostizierten einen Ausbau der Kleinwasserkraft bis 2035 in einem relativ engen Bereich zwischen 1,5 und 2,2 TWh. Längerfristig wird ein Ausbaupotenzial bis 3,4 TWh als möglich erachtet.

### Strom aus Geothermie

Die Stromproduktion aus der Geothermie beruht auf dem Prinzip des Deep Heat Mining. Ob die Erschliessung des Wärmereservoirs in 5–7 km Tiefe zur Wärme- und Stromgewinnung in der Schweiz möglich ist, lässt sich heute nur schwer einschätzen. Die tiefe Geothermie wäre grundsätzlich geeignet, Bandenergie zu liefern. Der elektrische Wirkungsgrad der Anlagen ist mit 10–15% jedoch relativ tief, d.h., es fällt bei der Stromproduktion viel Abwärme an. Eine kombinierte Nutzung von Strom und Wärme ist aus diesem Grund vorzuziehen. Die verschiedenen Studien erwarten, dass bis 2035 mit Geothermie Strom im Umfang von 0,6 bis rund 5 TWh erzeugt werden könnte. Im Jahr 2050 liegen die erwarteten Potenziale in einem ähnlichen Bereich. Nach 2050 sieht eine Studie der Axpo ein grösseres technisches Potenzial von 17,5 TWh.

### Biomasse – Strom, Wärme und Treibstoffe

Biomasse ist die einzige erneuerbare Energiequelle, die für die Strom-, Wärme- und Treibstoffproduktion genutzt werden kann. Das ökologische Gesamtpotenzial wird auf rund 35 TWh oder 130 PJ (Primärenergie) geschätzt (Bild 3). Die ge-

samte Nutzung für Strom, Wärme und Treibstoffe kann grundsätzlich diesen Wert nicht überschreiten. Heute wird in der Schweiz erst rund ein Drittel des ökologischen Potenzials der Biomasse genutzt. Aktuelle Ökobilanzen zeigen dabei, dass sich nur ein geringer Anteil der einheimischen Biomasse für die Treibstoffproduktion eignet [3]. Heute werden 1,3 TWh Strom, 8 TWh Wärme und 0,01 TWh Treibstoffe als Nutzenergie aus einheimischer Biomasse erzeugt.

Die für diesen Bericht berücksichtigten Studien gehen von einem Gesamtpotenzial in der Grössenordnung von rund 22–42 TWh aus. Die Studie der SATW übersteigt mit ihren Potenzialangaben für das Jahr 2050 das für 2040 prognostizierte ökologische Nettoproduktionspotenzial, welches das Bundesamt für Energie 2004 ausgewiesen hat. Die relativen Anteile der Biomasse zur Nutzung als Wärme, Strom oder Treibstoff sind von Studie zu Studie unterschiedlich (**Bild 3**). Nur die SATW-Studie schätzt, dass etwas mehr als die Hälfte der Biomasse um 2050 als Treibstoff genutzt werden wird. Der Beitrag an flüssigen Biotreibstoffen und an Biogas könnte 11 TWh oder 40 PJ erreichen, was etwa 80 PJ Primärenergie bedeuten würde.

### Solare Wärme (Solarthermie)

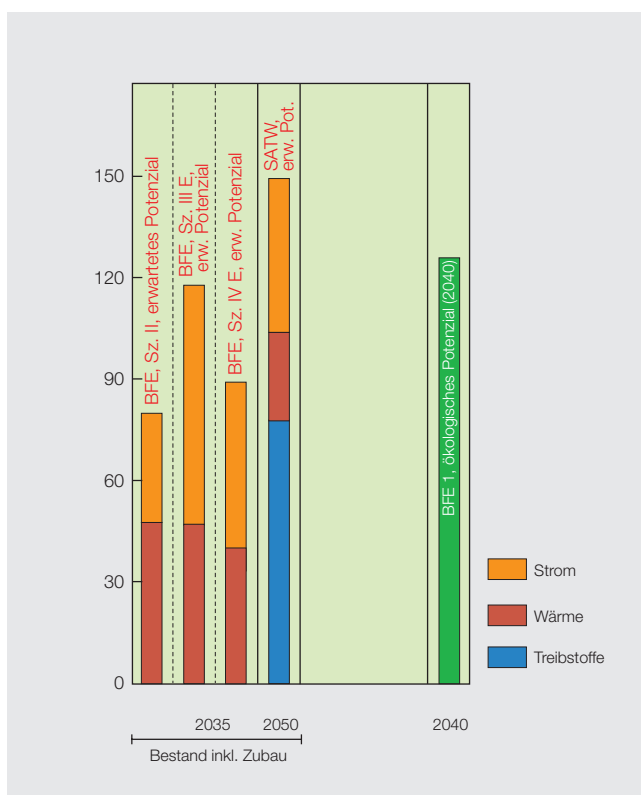
Das Potenzial der Nutzung von Sonnenenergie zum Heizen und zur Warmwasseraufbereitung ist grundsätzlich gross. Bei Neubauten sind die Gesteungskosten heute in vielen Fällen konkurrenzfähig. Die verschiedenen Studien zur schweizerischen Energiezukunft gehen davon aus, dass die aus Solarthermie erzeugte Wärme bis 2035 von heute 0,3 TWh auf 0,4–2,3 TWh ansteigen wird. Bis 2050 zeigen die berücksichtigten Studien erwartete Gesamtpotenziale für Umgebungswärme zwischen 5 und 6,5 TWh.

### Umgebungswärme

Ähnlich wie bei der solaren Wärmenutzung ist das Potenzial der Umgebungswärme sehr gross. Wärmepumpen sind heute bei den Neubauten oft das billigste Heizungssystem. Diese steigen bis 2050 weiter auf 10–11,3 TWh an, bis 2070 gar auf 15,6 TWh. Es wird somit eine kontinuierliche Erweiterung erwartet.

### Einschätzungen des ETS

Wie im vorigen Abschnitt erwähnt, hat sich der ETS auf ein «erwartetes Po-



**Bild 3** Gesamtpotenzial Biomasse (Strom, Wärme, Treibstoffe), Angaben aus verschiedenen Studien.

	«aktuell» <sup>1</sup>	2035	2050
Fotovoltaik	0,02	1 – 2	8 – 12
Wind	0,02	1 – 2	2 – 3
Biomasse	1,30	5	5
Geothermie	–	0 – 0,5	1,5 – 3,5
Kleinwasserkraft (< 10 MW)	3,5	5	4 – 5
Total NE <sup>2</sup>	4,8	12,0 – 14,5	20,5 – 28,5
Erwarteter Wert		12,3	24
Grosswasserkraft	29,8 <sup>1</sup>	28,2	26,7
Total Erneuerbare	34,6	40,5	50,7
Kernenergie	25,2	16,8 <sup>3</sup>	0 <sup>3</sup>
konv.-thermische	2,0	2,9	2,9
Jahresproduktion	61,8 <sup>4</sup>	60,2	53,6
Gesamt-Inlandnachfrage <sup>4</sup>	63,2	71,3	71,3
Deckungslücke	1,4	11	18
Anteil Erneuerbare an Inlandnachfrage	55 %	57 %	71 %

<sup>1</sup> Zeitraum 2004–2008, vgl. detaillierte Kommentare in [2], S. 77  
<sup>2</sup> NE = neue erneuerbare Energien  
<sup>3</sup> vor Entscheid über Ersatz der bestehenden Kernkraftwerke  
<sup>4</sup> inkl. Netzverlusten und Verlusten aus Pumpspeicherung

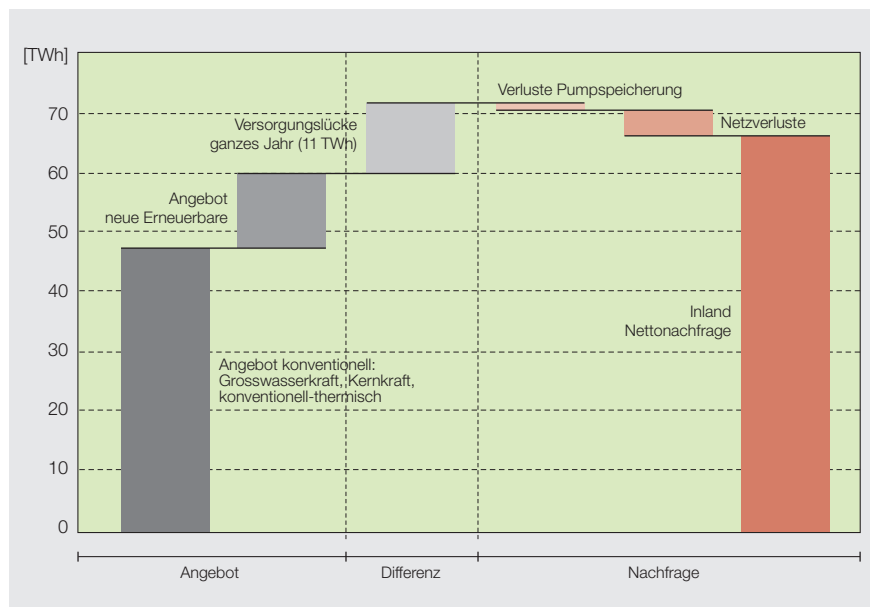
**Tabelle** Beiträge der inländischen erneuerbaren Energien zum Strom [TWh/Jahr]. Einschätzungen des ETS.

tenzial» der erneuerbaren Energien geeignet. Dass diese Einigung nach intensiver Analyse der zugrunde liegenden Studien und gemeinsamer Diskussion erreicht werden konnte, stellt einen wesentlichen Erfolg des Diskussionsprozesses dar: Während für das technische Potenzial messbare Daten zugrunde gelegt werden (können), mussten hier Erwartungen hinsichtlich der Preisentwicklung, der Lebensdauer der zu substituierenden Anlagen, der Dynamik des Aufbaus, der

Akzeptanz und der erwarteten Maximalzahl installierter Annahmen getroffen werden.

### Strombilanz

Die Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften hatte in [4] ein Gesamtpotenzial der erneuerbaren Energien an der Stromproduktion (inkl. Grosswasserkraft) von 50 TWh/Jahr im Jahr 2050 ermittelt. Die im vorigen Abschnitt diskutierten Zahlen des ETS sind



**Bild 4** Differenz zwischen Stromnachfrage und Stromangebot im Jahr 2035, Ganzjahresbetrachtung.

in der **Tabelle** zusammengefasst. Die Tatsache, dass nach intensiver Diskussion (und bei teilweise unterschiedlichen Annahmen) ein Gesamtpotenzial von 50,7 TWh/Jahr für 2050 ermittelt wurde, gibt Zuversicht, dass dieser Beitrag als ambitioniertes Ziel richtig quantifiziert wurde und erreichbar sein könnte.

Bemerkenswert ist die signifikante mögliche Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien an der gesamten Stromproduktion auf 71%, womit der im europäischen Vergleich hervorragende Wert weiter ausgebaut wird.

Der ETS hat eine Energiebilanz für die inländische Produktion erstellt, und zwar jeweils für das Ganzjahr und das Winterhalbjahr. Damit sollte die Deckungslücke vor einem allfälligen Entscheid über Stromimporte, den Bau von Grosskraftwerken (Kernkraftwerke, Gas-Kombikraftwerke) und von gasbasierten Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen identifiziert werden. Die Ganzjahres-Deckungslücke beträgt gemäss der **Tabelle** 11 TWh im Jahr 2035 und 18 TWh im Jahr 2050. Für das Jahr 2035 ist diese Bilanz in **Bild 4** illustriert. Dass eine Einigung über Existenz und Ausmass dieser Deckungslücke erzielt werden konnte, ist als ein weiteres wesentliches Resultat des Dialog-Prozesses einzuschätzen.

### Wichtigste Massnahmen zur Umsetzung der Potenziale

Der ETS hat 10 prioritäre Massnahmen zur Erreichung der übergeordneten Ziele formuliert. Speziell auf die Förde-

rung der erneuerbaren Energien wirken die folgenden Massnahmen:

- Massnahme 1: Einheitlicher Preis für CO<sub>2</sub>.
- Massnahme 3: Förderprogramm für Gebäudesanierungen (Einbezug erneuerbarer Energien).
- Massnahme 7: Ausbau der zeitlich begrenzten und degressiven Einspeisevergütung für erneuerbare Energien.

Dass diese Massnahmen in die erwünschte Richtung zielen, ist offensichtlich; einige Überlegungen zur möglichen Ausgestaltung und Quantifizierung ihrer Wirkung finden sich im Grundlagenbericht [2].

Im Ausblick nennt der ETS summarisch mögliche weiterführende Massnah-

men zum Schliessen der identifizierten Deckungslücke (**Tabelle**). Diese sind in **Bild 5** grafisch dargestellt und umfassen den Ausbau des Angebots durch Grosskraftwerke, Wärme-Kraft-Koppelungsanlagen oder einen noch stärkeren Ausbau der erneuerbaren Energien, den Import von Strommix oder zertifiziertem Strom aus dem umgebenden Ausland oder eine Reduktion der Nachfrage durch noch höhere Effizienzsteigerungen bzw. durch Verhaltensänderungen. Über die Realisierbarkeit dieser Massnahmen konnten im Rahmen des zeitlich limitierten Prozesses des ETS keine Aussagen gemacht werden.

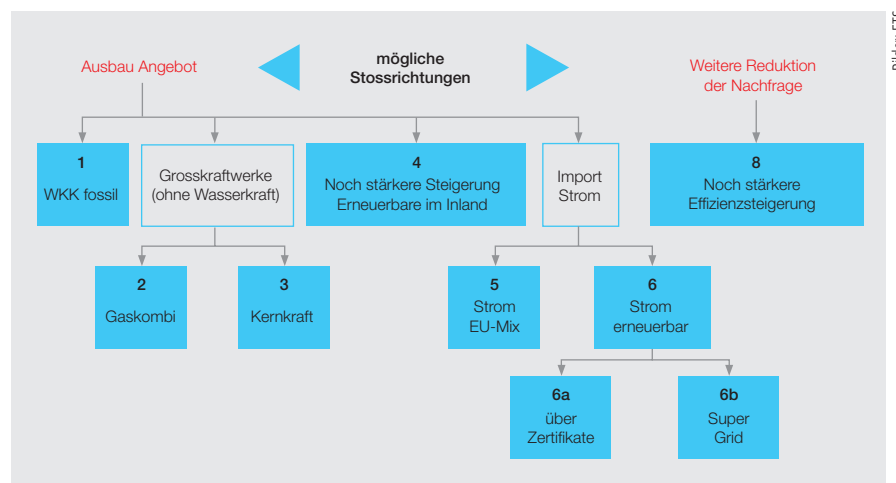
### Zusammenfassung

Der ETS hat aufgezeigt, dass die erneuerbaren Energien bei dezidiert Förderung einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung der Schweiz leisten können. Dieser beträgt, bezogen auf die Endenergie im Jahr 2050

- beim Strom, wie oben dargestellt, 183 von 257 PJ, d. h. 71%,
- bei der Wärme (Brennstoffe, Fern- und Umweltwärme) 130 von total 281 PJ, d. h. 46%,
- bei den Treibstoffen 18 von 86 PJ, d. h. 21%,
- insgesamt 331 von 624 PJ (inkl. Netzverluste), d. h. 53%.

Die Tatsache, dass die Energieversorgung der Schweiz bis 2050 zu über 50% (bezogen auf Endenergie) auf erneuerbare Energien umgestellt werden könnte, muss als äusserst ermutigendes Resultat bezeichnet werden.

Mit dem abnehmenden Anteil der fossilen Energieträger und der Effizienzsteigerung durch Stromeinsatz geht eine



**Bild 5** Mögliche Stossrichtungen zur Deckung der Differenz zwischen der Inlandnachfrage nach Strom und der inländischen Produktion.

substanzielle Dekarbonisierung des Energiesystems einher. Gemäss dem ETS-Szenario könnte der inländische CO<sub>2</sub>-Ausstoss pro Einwohner und Jahr von gegenwärtig rund 6 t CO<sub>2</sub> auf 3 t CO<sub>2</sub> im Jahr 2035 und auf 2 t im Jahr 2050 gesenkt werden [2]. Auf dem Weg zur Reduktion auf 1 t CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr gegen Ende dieses Jahrhunderts wären damit 80% des Ziels durch inländische Massnahmen erreicht.

Eine abschliessende Bemerkung bezieht sich auf den Energieverbrauch pro Person und Jahr. Dieser bezieht sich gemäss Definition auf die in der Energiestatistik erfasste Bruttoenergie. Der ETS macht hierzu keine explizite Aussage, doch muss bei einem jährlichen Endenergieverbrauch von 624 PJ von einer Bruttoenergie von ca. 800 PJ ausgegangen werden. Bei einer extrapolierten Einwohnerzahl von 8 Mio. Einwohnern im Jahr 2050 entspricht dies einem

jährlichen Energieverbrauch von rund 100 GJ pro Einwohner oder, als Dauerleistung ausgedrückt, von ca. 3,2 kW/Person. Diese Zahl ist aufschlussreich im Hinblick auf die Frage, wie weit der Energieverbrauch bei gleichzeitiger Berücksichtigung eines moderaten Wirtschaftswachstums und einer aggressiven Steigerung der Energieeffizienz im Zeitraum bis 2050 gesenkt werden könnte.

Der ETS versuchte mit seinen Potenzialabschätzungen einen Impuls für Massnahmen zur Realisierung eines nachhaltigeren Energiesystems zu geben, in dessen Zentrum das Ziel der Lebensqualität mit seinen gesellschaftlichen, ökologischen und wirtschaftlichen Dimensionen steht. Wie weit dieses Ziel erreicht werden kann, wird vom Willen aller am System beteiligten Akteure und Personen zum entschlossenen Handeln abhängen.

## Résumé

### Le potentiel des nouvelles énergies renouvelables en Suisse

#### Estimation du Trialogue Energie Suisse (ETS)

Le potentiel d'extension à attendre des énergies renouvelables peut, selon une estimation du Trialogue Energie Suisse (ETS), apporter jusqu'en 2050 une contribution importante à l'approvisionnement de la Suisse en électricité, moyennant une promotion ciblée. Malgré une offre largement étendue d'énergies renouvelables et l'exploitation complète des potentiels d'efficacité, un fossé persiste entre les besoins estimés et l'offre prévue si la Suisse devait renoncer à de grandes centrales électriques.

No

## Literatur

- [1] Grundlagenpapier für die Energie-Strategie 2050: «Erneuerbare Energien: Übersicht über vorliegende Studien und Einschätzung des Energie-Trialogs Schweiz zu den erwarteten inländischen Potenzialen für die Strom-, Wärme- und Treibstoffproduktion in den Jahren 2035 und 2050 inklusive Berücksichtigung der Potenziale aus Abfällen»; ETS 16.6.2009, [www.energetrialog.ch/cm\\_data/ETS\\_Potenzial\\_Erneuerbare\\_2009.pdf](http://www.energetrialog.ch/cm_data/ETS_Potenzial_Erneuerbare_2009.pdf).
- [2] Energie-Strategie 2050, Impulse für die schweizerische Energiepolitik, ETS, 6.10.2009, [www.energetrialog.ch/cm\\_data/Grundlagenbericht.pdf](http://www.energetrialog.ch/cm_data/Grundlagenbericht.pdf).
- [3] Rainer Zah et al.: «Ökobilanz von Energieprodukten: Ökologische Bewertung von Biotreibstoffen», Empa St. Gallen, 22.5.2007, im Auftrag des Bundesamts für Energie, des Bundesamts für Umwelt und des Bundesamts für Landwirtschaft.
- [4] Roadmap Erneuerbare Energien Schweiz, SATW-Schrift Nr. 39, Dezember 2006.

## Angaben zu den Autoren

Dr. **Philipp Dietrich** arbeitete in der Automobilindustrie und im Kraftwerksbereich, bevor er 1999 an der ETH im Bereich Energietechnik promovierte. Heute ist er Geschäftsführer des Kompetenzzentrums Energie und Mobilität (CCEM) des ETH-Bereichs.

CCEM, 5232 Villigen,  
[philipp.dietrich@psi.ch](mailto:philipp.dietrich@psi.ch)

Dr. **Tony Kaiser** hat 1979 an der Universität Zürich in physikalischer Chemie promoviert. Im Verlauf der letzten 30 Jahre war er für BBC, ABB und Alstom im Inland wie auch im Ausland im F&E-Management tätig. Heute ist er Berater bei Consenec AG und Geschäftsleiter des Energie-Trialogs Schweiz.

Consenec AG, 5405 Baden-Dättwil,  
[tony.kaiser@energetrialog.ch](mailto:tony.kaiser@energetrialog.ch)

Prof. Dr. **Alexander Wokaun** leitet den Forschungsbereich Allgemeine Energie des Paul-Scherrer-Instituts und ist Professor für Chemie an der ETH Zürich. Im Kompetenzzentrum Energie und Mobilität (CCEM) des ETH-Bereichs wirkt er als Vorsitzender des Steering Committees.

Paul-Scherrer-Institut, 5232 Villigen PSI,  
[alexander.wokaun@psi.ch](mailto:alexander.wokaun@psi.ch)