

# Potenziale der erneuerbaren Energien

## Potenzialdefinitionen und Potenziale in der Schweiz

In seinen Energieperspektiven hat das Bundesamt für Energie der Frage nach dem Potenzial der erneuerbaren Energien zur Stromgewinnung grosse Bedeutung beigemessen. Dazu wurden verschiedene Studien in Auftrag gegeben (Quellen: [3], [4], [5]) und dann systematisch ausgewertet. Im nachfolgenden Artikel werden im ersten Teil die verwendeten Potenzialbegriffe vorgestellt, im zweiten Teil die in den Perspektivarbeiten unterstellten Potenziale.

■ Michel Piot

### Potenzialdefinitionen

Für die Definition der verschiedenen Potenzialbegriffe erweist es sich als sinnvoll, vom theoretischen Potenzial auszugehen und dieses dann in einzelne Teilmengen zu untergliedern. Unter dem theoretischen Potenzial versteht man das innerhalb einer gegebenen Region und eines bestimmten Zeitraumes theoretisch physikalisch nutzbare Energieangebot.

### Technisches Potenzial

Das technische Potenzial ist der Anteil des theoretischen Potenzials, der unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Restriktionen nutzbar ist. Im Gegensatz dazu werden in der Literatur oftmals bereits ökologische und gesetzgeberische Einschränkungen mitberücksichtigt.

Mit der Formulierung «der gegebenen technischen Restriktionen» wird impliziert, dass das technische Potenzial nicht nur technologie-, sondern auch zeitabhängig ist. Diese Bemerkung mag trivial erscheinen, ist sie allerdings nicht. Berücksichtigt man nämlich nur die heute verfügbare Technologie, so wird das technische Potenzial für die Zukunft mit Ausnahme von vollständig ausgereiften Technologien unterschätzt. Berücksichtigt man hingegen auch die zukünftig erwarteten technischen Fortschritte, so ist die Annahme über diese Entwicklung mit Unsicherheiten verbunden.

Ausgehend vom technischen Potenzial wird aufbauend auf dem Drei-Säulen-Modell der nachhaltigen Entwicklung, das ökologische, wirtschaftliche und soziale Akzeptanzpotenzial definiert (siehe Abbildung 1). Das Modell geht von der Vorstellung aus, dass nachhaltige Entwicklung nur durch das gleichzeitige und gleichberechtigte Umsetzen von umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Zielen erreicht werden kann. Mit diesem Ansatz ist auch die Konsistenz zum Energieartikel der Bundesverfassung gewährleistet.

### Ökologisches Potenzial

Das ökologische Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, der zu keiner zusätzlichen irreversiblen Beeinträchtigung des Lebensraumes führt in Bezug auf Diversität und Wechselwirkungen zwischen Lebewesen und ihrer Umwelt. Daraus geht hervor, dass der

heutige Zustand als Referenzzustand betrachtet wird. Dies mag auf Anhieb nicht befriedigen, doch handelt es sich bei diesem Zustand um einen willkürlich gewählten Referenzpunkt, der mit entsprechenden gesetzlichen Anforderungen an den Umweltschutz verschoben werden kann. Im Weiteren berücksichtigt die Ökologie gemäss obiger Definition keine landschaftsästhetischen Aspekte. Damit zählen Windanlagen grundsätzlich zum ökologischen Potenzial. Umstritten ist, ob Photovoltaikanlagen auf Freilandflächen als ökologisch zu betrachten sind oder nicht.

### Wirtschaftliches Potenzial

Das wirtschaftliche Potenzial ist der Anteil des technischen Potenzials, den man erhält, wenn man die Gesamtkosten für die Energieumwandlung einer erneuerbaren Energiequelle berechnet. Dabei müssen sie in der gleichen Bandbreite liegen wie die Gesamtkosten konkurrierender Systeme. Das wirtschaftliche Potenzial berücksichtigt keine Fördermassnahmen für die Energieerzeugung. Werden aber aus anderen Gründen Gebühren erhoben oder Fördermassnahmen gewährt, wie zum Beispiel bei der Biomasse Abfallgebühren oder Zahlungen aus agrar- oder forstwirtschaftlichen Überlegungen, dann vergrössert sich das wirtschaftliche Potenzial genau so, wie bei einer CO<sub>2</sub>-Abgabe auf fossilen Brennstoffen, die zu höheren Gesamtkosten konkurrierender Systeme führt. Wird aus

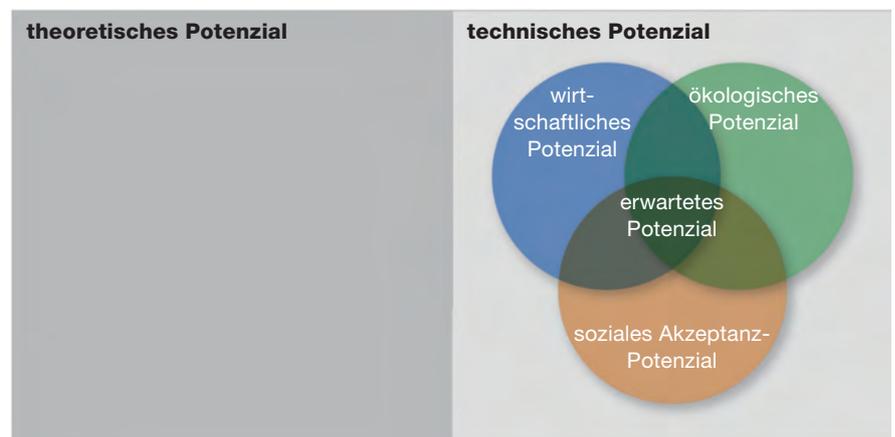


Abbildung 1: Potenzialbegriffe in grafischer Darstellung. Quelle: [2].

energiepolitischen Gründen eine Fördermassnahme miteinbezogen, zum Beispiel eine kostendeckende Einspeisevergütung für Strom aus erneuerbaren Energien, dann kann man von einem erweitert wirtschaftlichen Potenzial sprechen, das grösser ist als das wirtschaftliche.

### Ausschöpfbares und erwartetes Potenzial

Die Schnittmenge des ökologischen und des wirtschaftlichen Potenzials wird als ausschöpfbares Potenzial bezeichnet. In der Regel wird allerdings nicht das ganze ausschöpfbare Potenzial realisiert, da mit dem sozialen Akzeptanzpotenzial eine äusserst subjektive Komponente in die Betrachtung einfliesst. Dieses Potenzial berücksichtigt unter anderem, dass ein Projekt aus landschaftsästhetischen Gründen nicht realisiert wird, obschon es unter Umständen im ökologischen und wirtschaftlichen Potenzial enthalten ist.

Das erwartete Potenzial ist die Schnittmenge des ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Akzeptanzpotenzials. Dieses Potenzial muss nicht notwendigerweise vollständig ausgeschöpft werden. Dafür gibt es verschiedene Gründe. Zum Beispiel können die Projekte, die sich aus dem erwarteten Potenzial ergeben, in Konkurrenz mit noch attraktiveren Projekten im Ausland stehen. Oder es kann an den Investitionsentscheiden liegen, die sich gerne in die Länge ziehen. Ist die Planungs- und damit Investitionsicherheit als Folge von unsicheren politischen Rahmenbedingungen (soziale Akzeptanz, Steuern) und wirtschaftlichen Unsicherheiten (Preisentwicklung der fossilen Brennstoffe, Änderung der Förderungsbeiträge) zu gross, wird möglicherweise auf ein Projekt verzichtet, auch wenn es unter heutigen Bedingungen die Kriterien der Ökologie, Wirtschaftlichkeit und sozialen Akzeptanz erfüllt.

### Ausbaupotenzial

Alle Potenziale können in bereits realisierte und nicht realisierte Potenziale unterteilt werden. Beim noch nicht realisierten Potenzial wird nachfolgend vom Ausbaupotenzial gesprochen. So entspricht zum Beispiel dem technischen Ausbaupotenzial die Differenz zwischen dem technischen Potenzial und dem bereits realisierten Potenzial. Im Zusammenhang mit der Frage nach den Möglichkeiten eines weiteren Ausbaus in der Schweiz ist somit vor allem das ausschöpfbare und das erwartete Ausbaupotenzial von Interesse.

### Potenziale der einzelnen Technologien in der Schweiz

Die Bestimmung der verschiedenen Potenziale für die einzelnen Technologien ist mit grossen Unsicherheiten verbunden. In [6] wurde mit Hilfe bestehender Literatur und aufbauend auf obigem Begriffsgerüst versucht, das theoretische, technische, ökologische und wirtschaftliche Potenzial für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien zu bestimmen. Da zahlreiche Annahmen getroffen werden mussten, werden an dieser Stelle mit Ausnahme der Wasserkraft nur qualitative Schlüsse gezogen. Ausgehend von diesen Potenzialen wird dann das erwartete Ausbaupotenzial für die einzelnen Technologien abgeschätzt (siehe Abbildungen 3 und 4).

### Technisches Ausbaupotenzial

Das technische Ausbaupotenzial erneuerbarer Energien für die Stromerzeugung in der Schweiz ist gross. Die Biomasse wird heute nur zu einem geringen Grad genutzt. Vor allem im Bereich Waldholz und Abfälle steht noch ein beträchtliches Ausbaupotenzial zur Verfügung. Für die Geothermie in der Schweiz sind die geologischen Verhältnisse, soweit dies heute abgeschätzt werden kann, vorteilhaft. Und sollte sich die Hot-Dry-Rock-Methode bewähren, dann steht der Schweiz trotz kleinem Wirkungsgrad ein

beträchtliches Ausbaupotenzial zur Verfügung. Sowohl die Photovoltaik als auch die Windenergie weisen ein grosses technisches Potenzial auf, das weitgehend nicht realisiert ist.

Das theoretische Potenzial der Wasserkraft wird auf rund 144 TWh pro Jahr geschätzt, das technische Potenzial je nach Quelle zwischen 41 TWh (Quelle: [1]) bis 42.6 TWh (Quelle: [4]). Der grösste Teil des technischen Potenzials ist bereits realisiert, sodass das Ausbaupotenzial relativ gesehen nur noch gering ist. Absolut gesehen bietet es aber immer noch erhebliche Möglichkeiten. In [4] wird dieses technische Ausbaupotenzial unterteilt in Ausrüstungersatz (970 GWh), Gefällserhöhungen und Ausbaggerungen (200 GWh), Umbauten und Erweiterungen (940 GWh) sowie Neubauten (5460 GWh).

### Wirtschaftliches Ausbaupotenzial

Das wirtschaftliche Ausbaupotenzial ist beschränkt, jedoch nicht konstant, denn es kann sich je nach Entwicklung der dauerhaften Preise für fossile Energieträger und Uran, aber auch durch Einführung einer Lenkungsabgabe (CO<sub>2</sub>-Abgabe) ändern. Bei der Biomasse sind einige Anwendungstechnologien wie zum Beispiel Strom aus Kehrichtverbrennungsanlagen bereits heute wirtschaftlich. Andere könnten den Sprung

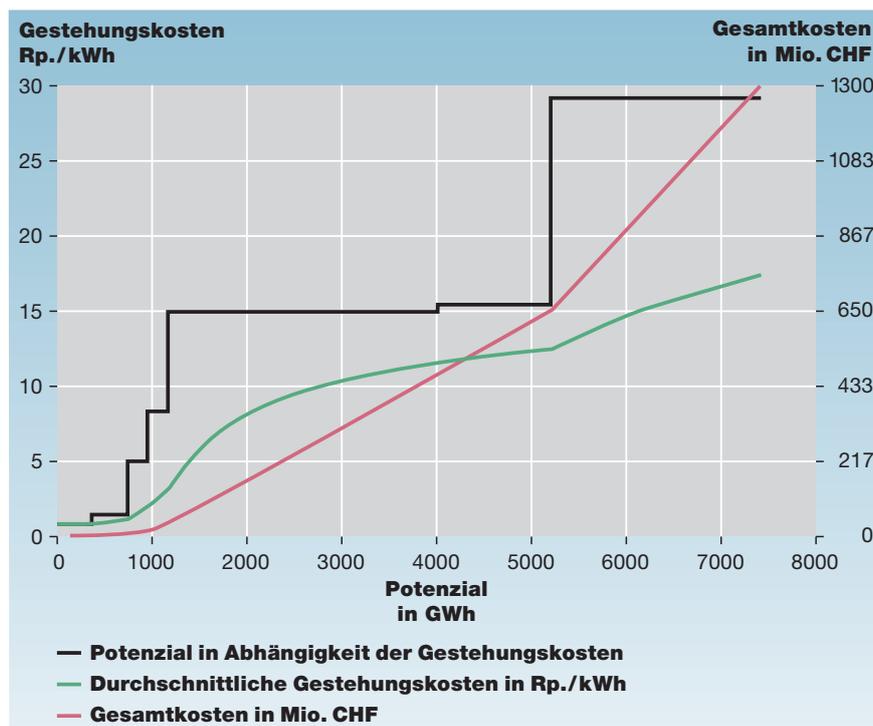


Abbildung 2: Gestehungskosten in Abhängigkeit des technischen Ausbaupotenzials der Wasserkraft. Quelle: [4].

## Potenziale

bald schaffen. Bei ausgereifter Technologie könnte vor allem bei der Geothermie ein beträchtlicher Teil des technischen Potenzials wirtschaftlich genutzt werden, wobei kurzfristig noch mit keinem Durchbruch zu rechnen ist. Photovoltaik ist heute und auch künftig nicht wirtschaftlich und kann nur mit entsprechenden Förderbeiträgen allenfalls zum erweitert wirtschaftlichen Potenzial gerechnet werden. Windenergie bietet einige Standorte, die zu konkurrenzfähigen Kosten Strom zu produzieren vermögen. Doch ist dieses Ausbaupotenzial für die Schweiz insgesamt relativ gering.

Das wirtschaftliche Potenzial der Wasserkraft kann in Abhängigkeit des Marktpreises aus Abbildung 2 abgelesen werden (schwarze Kurve). Weiter sind die Durchschnittsgestehungskosten des bis zu einer bestimmten Kostengrenze realisierbaren Potenzials eingezeichnet (grün) sowie die Gesamtkosten (rot) in Mio. CHF, die sich als Produkt der Durchschnittskosten mit dem Potenzial ergeben (rechte Achse).

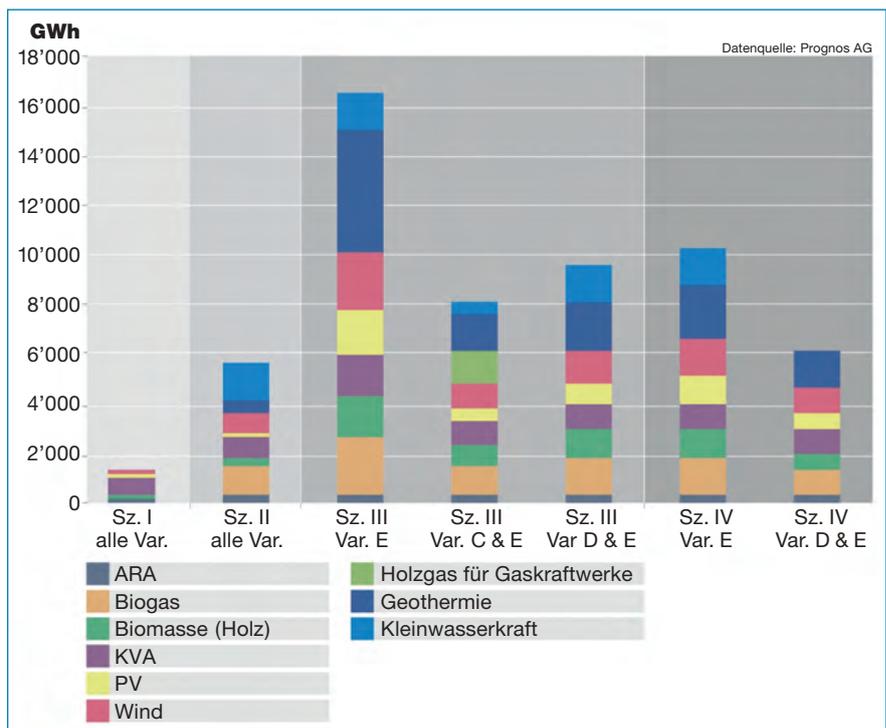


Abbildung 4: Erwartete Ausbaupotenziale erneuerbarer Energien zur Stromproduktion ohne Grosswasserkraft bis 2035. Quellen: [2], Grundlagen: [7].

## Ökologisches Ausbaupotenzial

Gemäss der Definition des ökologischen Potenzials, das nur eine Beurteilung der unmittelbaren Auswirkungen einer Anlage an einem Standort berücksichtigt, wird das technische Potenzial vorwiegend bei der Wasserkraft durch ökologische Kriterien eingeschränkt. Bei den anderen Technologien sind die zu berücksichtigenden Restriktionen wesentlich geringer.

## Ausschöpfbares und erwartetes Ausbaupotenzial

Trotz eines grossen technischen Ausbaupotenzials in der Schweiz fällt das ausschöpfbare Ausbaupotenzial aus Wirtschaftlichkeitsgründen unter heutigen Voraussetzungen gering aus. Solange die erneuerbaren Energien nicht durch verstärkte Förderbeiträge unterstützt werden oder Strom aus erneuerbaren Energien entsprechend vermarktet werden kann, wird sich an dieser Situation auch wenig ändern.

Das ausschöpfbare Ausbaupotenzial der Wasserkraft kann unter optimistischen Annahmen auf 4.3 bis 5.0 TWh abgeschätzt werden, das sich zusammensetzt aus Ausrüstungersatz, Erneuerungen und Umbauten (2.1 TWh), Neubauten Kleinwasserkraft (1.1 TWh) und Neubauten Grosswasserkraft (1.1 TWh bis 1.8 TWh).

Das Bundesamt für Energie hat in seinen Energieperspektiven vier verschiedene energiepolitische Szenarien definiert. Unter Berücksichtigung der damit verbundenen Einschätzungen des sozialen Akzeptanzpotenzials sowie der entsprechenden Angebotsvarianten hat die Prognos AG das erwartete Ausbaupotenzial abgeschätzt.

- Szenario I entspricht der Referenzentwicklung und beruht auf dem Vollzug beschlossener Instrumente. Unterstellt wird ein moderater technischer Fortschritt.
- Szenario II ist gekennzeichnet durch

eine Verstärkung der Zusammenarbeit zwischen Staat und Wirtschaft, einer moderaten Verschärfung von Vorschriften, einer wesentlichen Verstärkung der finanziellen Förderprogramme sowie der Einführung einer CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffen.

- Szenario III zielt auf eine deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktion sowie eine wesentliche Verbesserung der Energieeffizienz ab. Im Weiteren soll der Anteil der erneuerbaren Energien sowohl in der Strom- und Wärmeproduktion als auch im Treibstoffbereich gesteigert werden.
- Szenario IV bildet den Übergang zur 2000-Watt-Gesellschaft und sieht eine wesentliche Verstärkung der Instrumente und Massnahmen sowie technischen und gesellschaftlichen Innovationen gegenüber Szenario III vor, insbesondere auch in der Verkehrspolitik.

Bei den Stromangebotsvarianten wurden drei Kategorien betrachtet: eine mit

Szenarien	Var. A	Var. B	Var. C	Var. D	Var. E	Var. G
I	2.1 (Umbauten)	2.1 (Umbauten)	2.1 (Umbauten)	–	–	2.1 (Umbauten)
II	3.4 (< 10 MW)	3.4 (< 10 MW)	3.4 (<10 MW)	–	–	3.4 (< 10 MW)
III	3.4 (> 10 MW)	–	3.4 (> 10 MW)	3.4 (< 10 MW)	5.0 (GWK+KWK)	3.4 (> 10 MW)
IV	2.1 (Umbauten)	–	2.1 (Umbauten)	2.1 (Umbauten)	3.4 (< 10 MW)	2.1 (Umbauten)

Abbildung 3: Erwartetes Ausbaupotenzial der Wasserkraft in TWh mit den Schwerpunkten des Zubaus bis 2035. Die Reduktion des bestehenden Angebots durch die Restwasserbestimmungen ist in der Tabelle nicht berücksichtigt. GWK: Grosswasserkraft, KWK: Kleinwasserkraft.

**Kontakt**

Michel Piot, Energiewirtschaftler  
Bundesamt für Energie  
michel.piot@bfe.admin.ch

Schwerpunkt auf Grossanlagen – Kernkraftwerke (Variante A), Gaskombikraftwerke (Variante C) und eine Kombination (Variante B) –, eine mit dezentraler Versorgung – Wärme-Kraft-Kopplung (Variante D) und erneuerbare Energien (Variante E) sowie eine Kombination – und eine, die von vermehrten Stromimporten ausgeht.

Während in Szenario I und II die erwarteten Ausbaupotenziale unabhängig sind von der Angebotsvariante, fällt in Szenario III eine grosse Variabilität zwischen den verschiedenen Angebotsvarianten auf. Dies liegt daran, dass in Szenario III die Stromlücke erstmals auch vollständig mit dezentralen Varianten (Variante D oder Variante E) gefüllt werden kann. Die Umsetzung von Szenario III bedingt allerdings in der Variante E nebst dem Durchbruch der Geothermie auch eine Strategie, die dem Ausbau der

erneuerbaren Energien aus Klimaschutzaspekten Priorität vor anderen Aspekten der Ökologie einräumt. Insbesondere bei der Wasserkraft wird in Szenario III Variante E mit einem erwarteten Ausbaupotenzial von 5 TWh gerechnet. Daher wird neben der Ausschöpfung von Kleinwasserkraft auch die Akzeptanz von Um- und Neubauten bei Grosswasserkraft nötig sein.

**Literatur**

- [1] Allet Bruno, Anton Schleiss. 1990. Wasserkraft in der Schweiz: Ausbau, Möglichkeiten und Schranken; Schweizer Ingenieur und Architekt, Sonderdruck aus Heft 29/1990.
- [2] BFE. 2007. Die Energieperspektiven 2035 – Band 1 Synthese. Bern.
- [3] Hirschberg, Stefan, et al. 2005. Erneuerbare Energie und neue Nuklearanlagen. Energiewirtschaftliche Grundlagen. Bern: BFE.
- [4] Laufer, Fred, Stephan Grötzinger und Alain Schmutz. 2004. Ausbaupotenzial der Wasserkraft. Energiewirtschaftliche Grundlagen. Bern: BFE.
- [5] Oettli, Bernhard, et al. 2004. Potenziale zur energetischen Nutzung von Biomasse in der Schweiz. Energiewirtschaftliche Grundlagen. Bern: BFE.
- [6] Piot Michel. 2007. Potenziale erneuerbarer Energien zur Gewinnung von Strom in der Schweiz. Lausanne: EPFL.
- [7] Rits Vincent, Almut Kirchner, Michael Schlesinger, Marco Wünsch. 2007. Die Energieperspektiven 2035 – Band 5 Analyse und Bewertung des Elektrizitätsangebotes. Basel: Prognos.

**Le potentiel des énergies renouvelables**

Dans ses perspectives énergétiques, l'Office fédéral de l'énergie a accordé une grande importance au potentiel des énergies renouvelables pour produire de l'électricité. Diverses études à ce sujet ont été réalisées et systématiquement évaluées. L'article présente dans un premier temps les termes utilisés en matière de potentiel et, dans un second temps, les potentiels indiqués dans les travaux prospectifs.

**4.– 7. September 2007 | Messezentrum Basel | Halle 1**

ineltec: Hier werden die neusten Trends des Marktes Gebäudetechnologie gezeigt. Informationen zu der Messe und der Sonderpräsentation «Future Building» finden Sie auf der Website.

Erstmals gleichzeitig: go, die Technologiemesse für Automatisierung und Elektronik.

WWW.INELTEC.CH

**ineltec.**  
infrastructure  
technology