










Factsheets zu Stromerzeugungstechnologien in der Schweiz

Technische Merkmale, Ressourcenpotentiale, Umwelt-,
Gesundheits- und wirtschaftliche Auswirkungen

Evelina Trutnevyte^{1,2}, Sandra Volken², Georgios Xexakis^{1,2}

¹ Renewable Energy Systems, Institute for Environmental Sciences (ISE), Section of Earth and Environmental Sciences, Department of F.-A. Forel for Environmental and Aquatic Sciences, University of Geneva, CH-1211 Geneva 4, Switzerland

² Institut für Umweltentscheidungen, Departement Umweltsystemwissenschaften, ETH Zürich, CH-8092 Zürich, Schweiz

									
	Klima- wandel	lokale Umge- bungsluft	Gewässer	Landschaft und Boden- nutzung	Tiere und Pflanzen	Unfälle und Risiken	Rohstoffe und Abfälle	Strom- kosten	Versor- gungs- sicherheit
Sehr hoher negativer Einfluss									
Hoher negativer Einfluss									
Mittlerer negativer Einfluss									
Geringer negativer Einfluss									
Kein oder sehr geringer negativer Einfluss									
Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke									
Grosse Laufwasserkraftwerke									
Kleinwasserkraftwerke									
Atomkraftwerke									
Solarzellen (Photovoltaik)									
Windkraftwerke									
Tiefengeothermieanlagen									
Grosse Erdgaskraftwerke									
Biomassekraftwerke (Holz)									
Biogasanlagen									
Kehrichtverbrennungsanlagen									
Stromimporte aus dem Ausland									
Strombedarf senken									

Glossar

1 kWh (Kilowattstunde) ist die Menge Strom, die eine typische Glühbirne mit 10 Watt während 100 Stunden verbraucht. 1 kWh ist die Einheit, in welcher der Strompreis für die Konsumenten berechnet wird. Zum Beispiel ist der ewz.basis Tarif tagsüber 26 Rp. pro kWh und in der Nacht und an Sonntagen 15 Rp. pro kWh.

Ein Schweizer 3-Personen Haushalt verbraucht durchschnittlich etwa 7'000 kWh Strom pro Jahr. Falls Sie keine Elektroheizung zu Hause haben, könnte diese Angabe höher sein als Ihr Stromverbrauch. Würde die gesamte Menge Strom, welche in der Schweiz durch Industrie, Gewerbe, Landwirtschaft und Transport verbraucht wird, dazu gerechnet, verdreifacht sich der Stromverbrauch pro Haushalt und Jahr.

Im Jahr 2035 würde die Schweiz so jährlich total 70 Milliarden kWh Strom benötigen, wenn sich der Strombedarf weiterentwickelt wie bisher.

kW (Kilowatt) ist die Einheit, die angibt, mit welcher Leistung ein Kraftwerk höchstens betrieben werden kann. Ein Kraftwerk mit einer Höchstleistung von 1'000 kW kann während einer Spitzenstunde 1'000 kWh produzieren (1'000 kW mal 1 h).

1 Gramm CO_{2eq} pro kWh ist die Menge aller Arten von Treibhausgasen (Kohlenstoffdioxid, Methan und andere), welche durch die Erzeugung von 1 kWh Strom ausgestossen wird. CO_{2eq} steht für sogenannte Kohlenstoffdioxid (CO₂) Äquivalente und fasst den Einfluss verschiedener Treibhausgase zusammen. Jedes Gramm CO_{2eq} trägt gleichermassen zum Klimawandel bei, unabhängig davon, wo es ausgestossen wird.

1 Milligramm PM_{10eq} pro kWh ist die Menge Feinstaub, welche durch die Erzeugung von 1 kWh Strom ausgestossen wird. Feinstaub ist ähnlich wie Russ und kann durch Einatmen Lungenprobleme verursachen. PM_{10eq} steht für sogenannte Feinstaub (PM₁₀) Äquivalente und fasst den Einfluss verschiedengrosser Teilchen zusammen. PM₁₀ bezeichnet zum Beispiel Teilchen von 2.5 bis 10 Mikrometern Durchmesser.

Gesamter Herstellungsweg ist ein Begriff, der in Analysen zu den Umwelteinflüssen verwendet wird. Es bedeutet, dass nicht nur Einflüsse, die direkt durch den Betrieb der Kraftwerke entstehen eingerechnet werden, sondern auch Einflüsse die durch andere Aktivitäten entstehen, welche mit dem Bau, Betrieb und Rückbau der Kraftwerke in Verbindung stehen. Zum Beispiel werden auch Einflüsse durch den Abbau und Transport von Brennstoffen (z.B. Uran) oder Rohstoffen für die Herstellung der Kraftwerke (z.B. Metalle für die Solarzellen) oder die Abfallentsorgung eingerechnet. Auch wenn die Kraftwerke in der Schweiz stehen, kann ein gewisser Teil des Herstellungswegs im Ausland stattfinden und dort negative Einflüsse verursachen.

(...*bitte wenden*)

Stromkosten sind die Kosten für die Erzeugung von 1 kWh Strom, einschliesslich Investitionskosten für den Bau, den Betrieb, und die Stilllegung der Kraftwerke, sowie die Beschaffung der Brennstoffe (z.B. Erdgas). Stromkosten sind tiefer als der Preis, den Konsumenten bezahlen. Denn bei den Stromkosten sind unter anderem Kosten für das Stromnetz, Abgaben oder administrative Aufwände der Stromversorgungsunternehmen noch nicht miteingerechnet.

1 Milliarde kWh ist tausendmal mehr als 1 Million kWh. 1 Million kWh ist tausendmal mehr als 1 tausend kWh.

Eins	1	
1 Tausend	1'000	1'000 x 1
1 Million	1'000'000	1'000 x 1'000
1 Milliarde	1'000'000'000	1'000 x 1'000'000

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke



Speicherwasserkraftwerke speichern in grossen Seen Schmelzwasser aus den Bergen, sowie Quell-, Fluss- oder Regenwasser. Wasser, das in einen tieferliegenden, zweiten See oder Fluss geleitet wird, treibt eine Turbine (ein Wasserrad) an, welche Strom erzeugt. Einfache Stauseen erzeugen auf

diese Weise Strom. Pumpspeicherwasserkraftwerke können auch zum Speichern von Strom dienen. Dazu wird das Wasser mit überschüssigem Strom aus dem Stromnetz wieder in den höhergelegenen Staudamm gepumpt. Wird mehr Strom benötigt, so wird das gespeicherte Wasser hinuntergelassen und wiederum Strom erzeugt.



Heutige Situation

Mehr als 80 grosse Staudämme erzeugen 18 Milliarden kWh Strom pro Jahr (26 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 2.6 Millionen Haushalten. Diese Staudämme stehen mehrheitlich in den Alpen.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue Staudämme oder Erneuerung bestehender Kraftwerke erzeugt werden kann, wird auf 700 Millionen bis 2.5 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 100'000 bis 300'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 87 bis 96% ihres gesamten Potenzials für grosse Staudämme.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Speicherwasserkraftwerk jährlich 220 Millionen kWh Strom (für ca. 30'000 Haushalte). Beispielsweise erzeugt der Bieudron Staudamm im Wallis 1.8 Milliarden kWh jährlich, der Tremorgio Damm im Tessin nur 7 Millionen kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Grosse Staudämme stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Baus der Staumauern, entweichen 12 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Grosse Staudämme stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Transport von Rohstoffen für den Bau der Staumauern, dann entweichen 50 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg vergleichsweise gering.



Einfluss auf Gewässer

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke benötigen Wasser für die Stromerzeugung. Jedoch verbrauchen die Stauseen direkt kein Wasser, obwohl kleine Mengen Wasser durch Verdunstung aus dem See verloren gehen. Staudämme beeinflussen vor allem den natürlichen Abfluss von Berg-, Quell-, Fluss- und Regenwasser.

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein grosses Speicherkraftwerk bis zu 4'100 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Fläche wird beim Bau des Damms überflutet. Für den Bau neuer Kraftwerke wird in der Schweiz selten fruchtbares Land überflutet oder die Bevölkerung umgesiedelt. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Beim Bau von Staudämmen werden grosse Landflächen überflutet, was einen negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen hat. Dieser Einfluss kann besonders hoch sein, wenn die Dämme an unbesiedelten Orten mit hoher Tier- und Pflanzenvielfalt gebaut werden. Der veränderte Wasserabfluss ober- und unterhalb der Kraftwerke beeinflusst auch die Lebensräume und Wanderwege von Wassertieren.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Speicherkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 3'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall kann zu vielen Todesopfern und grossen wirtschaftlichen Schäden führen. Beispielsweise führte der Vajont Unfall in Italien 1963 zu 2'600 Todesopfern und etwa 140 Millionen CHF wirtschaftlichen Schaden.



Rohstoffe und Abfälle

Wasserkraft wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.1 kWh nicht-erneuerbare Energie, zum Beispiel für den Transport von Rohstoffen für den Bau der Staumauern. Die Erzeugung von 1 kWh Strom aus Staudämmen führt zudem zu 310 Milligramm Feststoffabfällen, besonders während des Baus und des Rückbaus der Dämme. Diese Abfälle sind grösstenteils ungiftig.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Speicherkraftwerken schwanken heute zwischen 3 und 7 Rp. pro kWh. Für die Zukunft wird ein Anstieg auf mindestens 8 Rp. pro kWh erwartet. Für neu gebaute Kraftwerke kann dieser Preis noch höher sein, da der Bau hohe Investitionskosten fordert.



Versorgungssicherheit

Grosse Staudämme sind eine zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung. Insbesondere können Staudämme saisonale Unterschiede ausgleichen, da das Wasser über Monate hinweg in den Stauseen gespeichert werden kann, bis mehr Strom benötigt wird. Pumpspeicherkraftwerke können sogar Strom speichern. Basierend auf den durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlägen in einem Jahr, kann sich die Stromerzeugung mit Speicherkraftwerken von Jahr zu Jahr unterscheiden.

Grosse Laufwasserkraftwerke

Laufwasserkraftwerke leiten einen Teil des Flusswassers in einen separaten Kanal. Dieses abgezweigte Wasser treibt eine Turbine (Wasserrad) an und erzeugt Strom. Danach wird das Wasser in den ursprünglichen Fluss zurückgeleitet, ohne den Wasserpegel oder den Wasserfluss zu verändern.

Diese Kraftwerke haben typischerweise keinen

Stausee und hängen daher vom natürlichen Wasserfluss ab. Einige Laufwasserkraftwerke können Wasser über die gesamte oder Teile der Flussbreite stauen, um dadurch den Wasserfluss zu regulieren. Diese Stauseen beeinflussen den Wasserpegel nur gering.



Heutige Situation

Über 100 grosse Laufwasserkraftwerke erzeugen 17 Milliarden kWh Strom pro Jahr (24 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Verbrauch von 2.4 Millionen Haushalten. Diese Kraftwerke stehen sowohl in den Alpen als auch im Mittelland.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue grosse Laufwasserkraftwerke oder Erneuerung bestehender Kraftwerke erzeugt werden kann, wird auf 700 Millionen bis 2.5 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 100'000 bis 300'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 87 bis 96% ihres gesamten Potenzials für grosse Laufwasserkraftwerke.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Laufwasserkraftwerk jährlich 160 Millionen kWh Strom (für ca. 23'000 Haushalte). Zum Beispiel erzeugt das Kraftwerk Laufenburg im Aargau 630 Millionen kWh jährlich, das Kraftwerk Wynau in Bern nur 51 Millionen kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Laufwasserkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Transports von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke, entweichen 4 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Laufwasserkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Transport von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke, dann entweichen 50 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x), welche zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg gering.



Einfluss auf Gewässer

Laufwasserkraftwerke benötigen Wasser für die Stromerzeugung. Jedoch verbrauchen Laufwasserkraftwerke direkt kein Wasser, da das abgezweigte Wasser in gleichen Mengen wieder in den Fluss zurückgeleitet wird. Laufwasserkraftwerke beeinflussen vor allem den natürlichen Abfluss von Flusswasser.

Grosse Laufwasserkraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Laufwasserkraftwerk bis zu 150 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Nur falls Wasser gestaut wird, um den Wasserfluss und –pegel zu regulieren, wird etwas Land an dem Ort gebraucht, wo das Kraftwerk steht. Diese überflutete Fläche wäre relativ unbedeutend. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Laufwasserkraftwerke beeinflussen den natürlichen Wasserfluss und damit die Lebensräume und Wanderwege von Wassertieren. Wenn Fische durch die Turbinen hindurch oder daran vorbei schwimmen werden sie möglicherweise gestresst oder verletzt. Der Wasserpegel und die Fließgeschwindigkeit ober- und unterhalb der Kraftwerke werden beim Bau zudem verändert. Falls Fläche überflutet wird, werden Lebensräume von Landtieren und –pflanzen zusätzlich beeinträchtigt.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Laufwasserkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 3'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall kann allerdings zu vielen Todesopfern und grossen wirtschaftlichen Schäden führen. Die Anzahl Todesopfer und der wirtschaftliche Schaden ist allerdings nicht so hoch wie bei grossen Speicherkraftwerken, welche für die meisten Unfälle mit Wasserkraft verantwortlich sind.



Rohstoffe und Abfälle

Wasserkraft wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom vernachlässigbare Mengen nicht-erneuerbare Energie, da keine grossen Bauten nötig sind. Über die Menge Feststoffabfälle aufgrund von Laufwasserkraftwerken bestehen keine verlässlichen Daten, aber es wird erwartet, dass viel weniger als 310 Milligramm pro kWh anfallen, wie bei grossen Staudämmen der Fall. Die Feststoffabfälle sind grösstenteils ungiftig.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Laufwasserkraftwerken schwanken heute zwischen 3 und 7 Rp. pro kWh. Für die Zukunft wird ein Anstieg auf mindestens 8 Rp. pro kWh erwartet. Für neu gebaute Kraftwerke kann dieser Preis noch viel höher sein, da der Bau hohe Investitionskosten fordert.



Versorgungssicherheit

Laufwasserkraftwerke sind eine relativ zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung. Da Laufwasserkraftwerke typischerweise keinen See zum Stauen von Wasser aufweisen, hängt deren Stromerzeugung von saisonalen Unterschieden im Wasserfluss ab. Basierend auf den durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlägen in einem Jahr, kann sich die Stromerzeugung mit Laufwasserkraftwerken von Jahr zu Jahr unterscheiden.

Kleinwasserkraftwerke

Kleinwasserkraftwerke können sowohl Laufwasserkraftwerke als auch Speicherwasserkraftwerke sein (siehe entsprechende Faktenblätter).

Wasserkraftwerke werden als klein bezeichnet, wenn Ihre Höchstleistung unter 10'000 kW liegt.

Zur Spitzenstunde erzeugt so ein Kraftwerk also nicht mehr als 10'000 kWh, etwas mehr als den

jährlichen Stromverbrauch eines Haushaltes. Dazu gehören auch sehr kleine Kraftwerke mit einer Höchstleistung von 300 kW. Solch kleine Kraftwerke sind wegen Ihrer niedrigen Leistung in der Schweizer Stromstatistik allerdings nicht genau dokumentiert.



Heutige Situation

450 Kleinwasserkraftwerke, hauptsächlich Laufwasserkraftwerke, erzeugen über 3 Milliarden kWh Strom pro Jahr (5 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von etwa 500'000 Haushalten. Kleinwasserkraftwerke stehen sowohl in den Alpen als auch im Mittelland.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue Kleinwasserkraftwerke oder Erneuerung bestehender Kraftwerke erzeugt werden kann, wird auf 1 bis 2 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 140'000 bis 280'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 60 bis 75% ihres gesamten Potenzials für Kleinwasserkraftwerke.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Kleinwasserkraftwerk jährlich 7 Millionen kWh Strom (für ca. 1'000 Haushalte). Zum Beispiel erzeugt das Monthey Laufwasserkraftwerk im Wallis 40 Millionen kWh pro Jahr, das Laufwasserkraftwerk Bäch in Schwyz nur 1 Million kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Kleinwasserkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Transports von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke, entweichen 5 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Kleinwasserkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Transport von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke, dann entweichen 50 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Die Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x), welche zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg gering.



Einfluss auf Gewässer

Kleinwasserkraftwerke benötigen Wasser für die Stromerzeugung. Jedoch verbrauchen weder Laufwasserkraftwerke noch Speicherwasserkraftwerke direkt Wasser. In Speicherwasserkraftwerken gehen kleine Mengen Wasser durch Verdunstung verloren. Kleinwasserkraftwerke beeinflussen vor allem den natürlichen Abfluss von Berg-, Quell-, Fluss- und Regenwasser.

Kleinwasserkraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Speicherkraftwerk bis zu 4'100 m² Land und ein Laufwasserkraftwerk etwa 150 m², um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Die meiste Fläche wird beim Bau überflutet, wie in den jeweiligen Faktenblättern zu (Pump-) Speicherkraftwerken und Laufwasserkraftwerken beschrieben. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Kleinwasserkraftwerke (meist Laufwasserkraftwerke) beeinflussen den natürlichen Wasserfluss und damit die Lebensräume und Wanderwege von Wassertieren. Wenn Fische durch die Turbinen hindurch oder daran vorbei schwimmen werden sie möglicherweise gestresst oder verletzt. Der Bau verändert den Wasserpegel und die Fließgeschwindigkeit ober- und unterhalb der Kraftwerke. Kleinwasserkraftwerke erzeugen vergleichsweise wenig Strom, beeinflussen die Ökosystem aber dennoch erheblich.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Kleinwasserkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 3'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu einer relativ geringen Anzahl Todesopfer und geringen wirtschaftlichen Schäden, aufgrund der beschränkten Grösse der Kraftwerke. Zudem sind die meisten Kleinwasserkraftwerke Laufwasserkraftwerke, für die das Risiko allgemein geringer ist als für Speicherkraftwerke.



Rohstoffe und Abfälle

Wasserkraft wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom vernachlässigbare Mengen nicht-erneuerbare Energie, da keine grossen Bauten nötig sind. Über die Mengen Feststoffabfälle aufgrund von Laufwasserkraftwerken bestehen keine verlässlichen Daten, aber es wird erwartet, dass viel weniger als 310 Milligramm pro kWh anfallen, wie es bei grossen Staudämmen der Fall ist. Die Feststoffabfälle sind grösstenteils ungiftig.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Kleinwasserkraftwerken schwanken heutzutage zwischen 10 und 40 Rp. pro kWh. Der Bau dieser Kraftwerke ist insgesamt gar nicht teuer, allerdings erzeugen Sie auch keine grossen Mengen Strom. Für die Zukunft wird ein Anstieg der Kosten auf bis zu 12 bis 50 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Kleinwasserkraftwerke (meist Laufwasserkraftwerke) sind eine relativ zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung. Da Kleinwasserkraftwerke typischerweise keinen See zum Stauen von Wasser aufweisen, hängt deren Stromerzeugung von saisonalen Unterschieden im Wasserfluss ab. Basierend auf den durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlägen in einem Jahr kann sich die Stromerzeugung mit Kleinwasserkraftwerken von Jahr zu Jahr unterscheiden.

Atomkraftwerke

Atomkraftwerke verwenden als Brennstoff Uran, was in Gesteinen vorkommt. Während der sogenannten Kernspaltung werden die Atome (Teilchen) des Urans gespalten, was grosse Mengen an Wärme freisetzt. Diese Wärme erzeugt Dampf, der in einem geschlossenen Kreislauf eine Dampfturbine antreibt und Strom erzeugt. Mit der überschüssigen Wärme können nahegelegene Häuser geheizt werden. Falls es in der Umgebung keine Abnehmer für Wärme gibt, wird der Dampfkreislauf mit Fluss- oder Seewasser oder mit einem zusätzlichen Wasserkreislauf in einem Kühlturm gekühlt.



Heutige Situation

5 Atomkraftwerke erzeugen 22 Milliarden kWh Strom pro Jahr (32% der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 3.1 Millionen Haushalten. Die Kraftwerke stehen in den Kantonen Aargau, Bern und Solothurn.



Zukünftige Situation

Derzeit können keine neuen Lizenzen für den Betrieb von Atomkraftwerken vergeben werden. Daher können auch in Zukunft höchstens diese 5 Atomkraftwerke Strom erzeugen. Ebenfalls ist es möglich, dass eines, mehrere oder alle dieser Atomkraftwerke in den kommenden Jahren abgeschaltet werden.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

Die Kraftwerke Leibstadt und Gösgen erzeugen jährlich 9 bzw. 8 Milliarden kWh Strom (für 1.3 bzw. 1.1 Millionen Haushalte). Die kleineren Kraftwerke Mühleberg, Beznau I und Beznau II erzeugen je etwa 3 Milliarden kWh (für 400'000 Haushalte).



Einfluss auf den Klimawandel

Atomkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Transport von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke und der Abbau von Uran, entweichen 14 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Atomkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Transport von Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke und der Abbau von Uran, entweichen 130 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg gering.



Einfluss auf Gewässer

Atomkraftwerke brauchen grosse Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt, was zu einer Wärmebelastung der Gewässer führt. Wird ein Kühlturm verwendet, verdampft das Wasser in der Luft. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg benötigt die Gewinnung, Verarbeitung und Lagerung von Uran ebenfalls grosse Mengen Wasser.

Atomkraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Atomkraftwerk etwa 130 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Die Fläche wird im Ausland an dem Ort, wo das Uran abgebaut und verarbeitet wird, gebraucht, sowie in der Schweiz an dem Ort, wo das Kraftwerk steht. Für die Gewinnung von Uran und die Langzeit Lagerung der Atomabfälle muss in die Tiefe gegraben werden. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch den Bau der Kraftwerke in der Schweiz und durch die Uranminen im Ausland gehen Lebensräume von Tieren und Pflanzen verloren. Dieser Einfluss kann besonders hoch sein, wenn unbesiedelte Orte hoher Tier- und Pflanzenvielfalt gestört werden, vor allem für neue Uranminen. Wird Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet, kann die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen zusätzlich beeinflussen. Im Falle von Atomkraftwerken ist diese Wärmebelastung erheblich.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Atomkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 1'200 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall (direkt am Kraftwerk oder wegen Gesundheitsfolgen). Ein schwerer Unfall kann zu sehr hohen wirtschaftlichen Schäden führen, die Anzahl direkter Todesopfer ist aber meistens gering. Zum Beispiel verursachte der Unfall in Fukushima, Japan 2011 fast 190 Milliarden CHF an Schäden. Zwar ist die Anzahl Todesopfer umstritten, jedoch konnten beim Kraftwerk selbst keine direkten Todesopfer gezählt werden.



Rohstoffe und Abfälle

Obwohl sehr geringe Mengen Uran für die Erzeugung grosser Mengen Strom ausreichen, sind die globalen Uranvorkommen begrenzt. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, benötigt die Erzeugung von 1 kWh Strom 3.8 kWh nicht-erneuerbare Energie. Die Erzeugung von 1 kWh Strom verursacht zudem 3'000 Milligramm Feststoffabfälle. Ein kleiner Teil dieser Abfälle bleibt über tausende von Jahren hinweg radioaktiv. Die Schweiz plant derzeit ihre langfristigen Lager für diese Atomabfälle.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Atomkraftwerken schwanken heute zwischen 4 und 5 Rp. pro kWh. Der Bau der Kraftwerke erfordert sehr hohe Investitionskosten, während die Kosten für den Betrieb vergleichsweise gering sind. Für die Zukunft wird ein Anstieg auf bis zu 5 bis 12 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Atomkraftwerke sind eine zuverlässige, stabile und leistungsfähige Art der Stromerzeugung, die nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. In sehr heissen und trockenen Sommern kann die Erzeugung von Strom aus Atomkraftwerken begrenzt sein, falls zu wenig Fluss- oder Seewasser zum Kühlen vorhanden ist. Atomkraftwerke benötigen Uran, das aus dem Ausland importiert wird. Obwohl die globalen Uranvorkommen begrenzt sind, zeigen aktuelle Analysen, dass diese noch für viele Jahrzehnte ausreichen.

Solarzellen (Photovoltaik)

Solarzellen (Photovoltaik) bestehen aus mehreren dünnen Platten aus leitfähigem Metall oder einem Halbleiter, wie Silizium. Die Platte nimmt durch den sogenannten photoelektrischen Effekt Sonnenlicht auf und gibt Elektronen ab, die als Strom genutzt werden. Entsprechend der Menge einfallenden Sonnenlichts wird mehr oder weniger Strom erzeugt. Einzelne Zellen können beliebig zusammengehängt werden. So sieht man wenige Platten auf Hausdächern oder an Fassaden für den Eigengebrauch, aber auch grosse „Solarfarmen“ im Industriemasstab, auf ungenutzten Flächen.



Heutige Situation

Über 100'000 Anlagen in der Grösse eines Hausdachs erzeugen 1.1 Milliarden kWh Strom pro Jahr (1.6 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 150'000 Haushalten. Die Solarzellen sind in der ganzen Schweiz verteilt, hauptsächlich auf Dächern von Wohnhäusern.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue Solarzellen (Photovoltaik) erzeugt werden kann, wird auf 5 bis 17 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 700'000 bis 2.4 Millionen Haushalte). Die Schweiz nützt heute 6 bis 18% ihres gesamten Potenzials für Solarzellen.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

Ein Dach eines Wohnhauses mit Solarzellen erzeugt jährlich ungefähr 8'000 kWh Strom (etwas mehr als ein einzelner Haushalt jährlich verbraucht). Grössere „Solarfarmen“ erzeugen durchschnittlich 300'000 kWh (für ca. 50 Haushalte).



Einfluss auf den Klimawandel

Solarzellen (Photovoltaik) stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen, entweichen 81 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Solarzellen (Photovoltaik) stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken in der Nähe der Kraftwerke führen. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen, dann entweichen 210 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg tritt leichte Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxiden (NO_x) auf, die zu Smog und saurem Regen beiträgt.



Einfluss auf Gewässer

Solarzellen (Photovoltaik) verbrauchen während dem Betrieb praktisch kein Wasser. Nur für die Reinigung werden kleine Mengen Wasser benötigt. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg gesehen, benötigt die Herstellung der Solarzellen erhebliche Mengen Wasser. Es wird jedoch erwartet, dass dieser Wasserverbrauch in Zukunft abnimmt.

Solarzellen (Photovoltaik)



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet brauchen Solarzellen (Photovoltaik) etwa 300 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Anlagen auf Dächern und an Fassaden benötigen nur für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen etwas Land. Grosse „Solarfarmen“ im Industriemasstab brauchen möglicherweise Fläche, die für andere Zwecke genutzt werden könnte. Das Bild auf der anderen Seite zeigt eine typische Anlage.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch Solarzellen (Photovoltaik) auf Hausdächer und an Fassaden gehen keine Lebensräume von Tieren und Pflanzen verloren. Durch Grössere „Solarfarmen“ auf Freiflächen, würden teilweise Lebensräume verloren gehen. Zusätzlich wird für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen Land gebraucht. Lokale Luftverschmutzung an den Orten im Ausland, wo die Verarbeitung stattfindet, hat ebenfalls einen negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen, zum Beispiel durch sauren Regen und Feinstaub.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Solarzellen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 36'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen. Beispielsweise führte eine Explosion in der Silizium Verarbeitungsanlage für Solarzellen in Japan 2014 zu 2 Todesopfern.



Rohstoffe und Abfälle

Solarzellen werden als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.3 kWh nicht-erneuerbare Energie für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen. Solarzellen benötigen auch seltene Metalle, die global begrenzt sind. Über die Abfallmenge gibt es wenige verlässliche Daten. Der Feststoffabfall ist teilweise giftig, was problematisch sein kann, besonders durch unsachgemässe Entsorgung der Solarzellen.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Solarkraftwerken schwanken heute zwischen 15 und 37 Rp. pro kWh. Der Bau der Kraftwerke erfordert relativ hohe Investitionskosten, während die Kosten für den Betrieb vergleichsweise gering sind. Die Kosten sind in den letzten 10 Jahren stark gesunken. Für die Zukunft wird ein Rückgang der Kosten auf bis zu 7 bis 12 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Solarzellen (Photovoltaik) sind eine lokal verfügbare, jedoch instabile und unflexible Art der Stromerzeugung. Da die Stromerzeugung direkt von der Sonneneinstrahlung abhängt, gibt es Tag-Nacht sowie saisonale Schwankungen. Diese Tag-Nacht Schwankungen können durch angeschlossene Batterien teilweise ausgeglichen werden. Ansonsten muss der Betrieb der übrigen Kraftwerke im Stromnetz angepasst werden, um die Schwankungen ausgleichen zu können.

Windkraftwerke

Windkraftwerke bestehen üblicherweise aus einem Rotor mit drei Rotorblättern. Diese ähneln Flügeln eines Flugzeugs. Der Rotor befindet sich oben an einem Turm, der so hoch wie ein 20 bis 40-stöckiges Gebäude ist. Hier ist der Wind schneller und gleichmässiger als in Bodennähe. Der Wind dreht die Rotorblätter, die einen Generator im Innern der



Anlage antreiben und somit Strom produzieren. Der Rotor passt sich an die Windrichtung und –geschwindigkeit an, um möglichst viel Strom zu erzeugen. Bei einem Sturm stoppt die Anlage automatisch und die Blätter wenden sich ab. Es gibt einzelne Windkraftwerke oder ganze Parks.



Heutige Situation

57 Windkraftwerke an 37 Standorten erzeugen 110 Millionen kWh Strom pro Jahr (0.2 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 15'000 Haushalten. Die Windkraftwerke in der Schweiz stehen vor allem im Mittelland.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue Windkraftwerke erzeugt werden kann, wird auf 1.3 bis 4 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 190'000 bis 600'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 3 bis 8 % ihres gesamten Potenzials für Windkraftwerke.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

Ein einzelnes industrielles Windkraftwerk erzeugt jährlich 3 Millionen kWh Strom (für ca. 450 Haushalte). Zum Beispiel erzeugt der Mt. Crosin Windpark im Kanton Bern 57 Millionen kWh, das Kraftwerk Chürstein (Gäbris) in Appenzell Ausserrhoden nur 4'000 kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Windkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Herstellung der Kraftwerke im Ausland, entweichen 17 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Windkraftwerke stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Herstellung der Kraftwerke im Ausland, entweichen 90 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg gering.



Einfluss auf Gewässer

Windkraftwerke verbrauchen während dem Betrieb praktisch kein Wasser. Einzig für die Reinigung werden kleine Mengen Wasser benötigt. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg werden vergleichsweise geringe Mengen an Wasser benötigt.

Windkraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Windkraftwerk bis zu 2'100 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Fläche wird am Ort gebraucht, wo die Kraftwerke stehen. Die Fläche kann aber gleichzeitig für andere Zwecke, z.B. Landwirtschaft, genutzt werden. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Der Bau von Windkraftwerken benötigt vergleichsweise grosse Flächen Land, Tieren und Pflanzen können aber weiter dort leben. Windkraftwerke können Vögel und Fledermäuse verletzen und töten, doch in der Nähe bekannter Flugrouten wird normalerweise nicht gebaut. Lokale Luftverschmutzung an den Orten im Ausland, wo die Verarbeitung stattfindet, hat ebenfalls einen negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen, beispielsweise durch sauren Regen und Feinstaub.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Windkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 5'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen. Beispielsweise führte ein Zusammenstoss eines Helikopters mit einem Windkraftwerk 2013 in Noxen, USA zu 5 Todesopfern.



Rohstoffe und Abfälle

Windkraft wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.1 kWh nicht-erneuerbare Energie, zum Beispiel für die Herstellung der Kraftwerke. Windkraftwerke benötigen auch seltene Metalle, die global begrenzt sind. Die Erzeugung von 1 kWh Strom aus Windkraft führt zudem zu 1'600 Milligramm Feststoffabfällen, besonders während des Baus und des Rückbaus der Anlagen. Kleine Teile dieser Abfälle sind giftig.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Windkraftwerken schwanken heutzutage zwischen 15 und 35 Rp. pro kWh. Der Bau der Kraftwerke erfordert relativ hohe Investitionskosten, während die Kosten für den Betrieb vergleichsweise gering sind. Die Kosten sind in den letzten 10 Jahren gesunken. Für die Zukunft wird ein Rückgang der Kosten auf bis zu 8 bis 18 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Windkraftwerke sind eine lokal verfügbare, jedoch instabile Art der Stromerzeugung. Da die Stromerzeugung direkt von der Windgeschwindigkeit abhängt, gibt es tägliche sowie saisonale Schwankungen. Der Betrieb der übrigen Kraftwerke im Stromnetz muss angepasst werden, um diese Schwankungen ausgleichen zu können. Wird zu einem bestimmten Zeitpunkt zu viel Strom erzeugt, können Windkraftwerke flexibel abgeschaltet werden, um nicht zusätzlich Strom ins Netz einzuspeisen.

Tiefengeothermieranlagen

Tiefengeothermieranlagen benötigen 3-5 Kilometer tiefe Bohrlöcher. Die Temperaturen in dieser Tiefe sind natürlicherweise über 100°C. Ist ein natürlicher Speicher mit heissem Wasser vorhanden, wird dieses Wasser hochgepumpt, um Dampf zu erzeugen, und danach wieder hinuntergepumpt. Der Dampf treibt eine Dampfturbine an und erzeugt Strom. Ist der Untergrund trocken, wird der Boden zerklüftet, damit Wasser fließen kann. Kaltes Wasser wird hinuntergepumpt und nachdem es sich erwärmt hat wieder hochgepumpt. Mit der überschüssigen Wärme können nahegelegene Häuser geheizt werden.



Heutige Situation

Zurzeit ist in der Schweiz keine Tiefengeothermieranlage in Betrieb. Die bisherigen Projekte in Basel und St.Gallen mussten aufgrund von Erdbeben (Basel und St.Gallen) und ungenügendem Wasser im Untergrund (St.Gallen) gestoppt werden.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch Tiefengeothermieranlagen in der Schweiz erzeugt werden kann, wird auf 2.5 bis 4.4 Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 350'000 bis 630'000 Haushalte). Die Schweiz nützt ihr Potenzial für Tiefengeothermieranlagen bisher noch überhaupt nicht.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz könnte eine durchschnittliche Tiefengeothermieranlage jährlich 46 Millionen kWh Strom erzeugen (für ca. 7'000 Haushalte). Grössere Anlagen könnten jährlich 122 Millionen kWh erzeugen, kleinere nur 24 Millionen kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Tiefengeothermieranlagen stossen während dem Betrieb keine Treibhausgase aus, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Abbaus von Rohstoffen für die Herstellung der Anlage, entweichen 59 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Tiefengeothermieranlagen stossen während dem Betrieb keine Luftschadstoffe aus, die zu erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Kraftwerke führen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Herstellung der Anlage, entweichen 50 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Luftverschmutzung durch Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxiden (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beiträgt, ist über den gesamten Herstellungsweg hinweg gering.



Einfluss auf Gewässer

Tiefengeothermieranlagen brauchen mittlere Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt zurück gespeist, was zu einer Wärmebelastung führt. Meistens werden mit der überschüssigen Wärme jedoch Häuser geheizt. Besteht ein natürlicher Grundwasserspeicher mit heissem Wasser, dann wird dieses Wasser an die Oberfläche gepumpt. Ist der Untergrund trocken, dann muss zusätzliches Wasser von der Oberfläche verwendet werden, was zu gewissen Wasserverlusten führt.

Tiefengeothermieanlagen



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht eine Tiefengeothermieanlage etwa 160 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen.

Am meisten Fläche wird am Ort gebraucht, wo die Kraftwerke stehen. Solche Anlagen benötigen zudem Bohrlöcher, die aber nur wenig Boden beanspruchen. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch den Bau der Tiefengeothermieanlagen gehen in der Schweiz Lebensräume für Tiere und Pflanzen verloren, wobei der Landverbrauch relativ gering ist. Wenn Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet wird, beeinflusst die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Industrie-Unfälle ist für Tiefengeothermieanlagen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 4'700 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Hinzu kommt jedoch, dass diese Anlagen auch Erdbeben verursachen können. Zum Beispiel führte das Projekt in Basel 2006 zu einem Erdbeben mit Magnitude 3.4 (für wenige Personen leicht spürbar) und über 7 Millionen CHF Schaden an versicherten Gütern. Experten schätzen, dass ein vergleichbares Erdbeben jedes Jahr in 1 von 10 Anlagen auftreten könnte. Stärkere Erdbeben mit Todesopfern sind extrem unwahrscheinlich, können aber nicht ganz ausgeschlossen werden.



Rohstoffe und Abfälle

Tiefengeothermie wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden, obschon die Temperatur am Grund der Bohrlöcher bei Betrieb über mehrere Jahrzehnte leicht sinkt. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom vernachlässigbare Mengen nicht-erneuerbare Energie. Die Erzeugung von 1 kWh Strom aus Tiefengeothermie führt zudem zu 60 Milligramm Feststoffabfällen, besonders während des Baus und Rückbaus der Anlagen. Diese Abfälle sind weitgehend ungiftig.



Stromkosten

Zurzeit sind in der Schweiz keine Tiefengeothermieanlagen in Betrieb und nur wenige weltweit. Die Technologie ist relativ neu und daher teuer, besonders wenn im Boden ein künstlicher Wasserspeicher angelegt werden muss. Daher gibt es wenige Schätzungen zu den Kosten, die auf Erfahrungswerten beruhen. Für die Zukunft werden Kosten von 10 bis 60 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Tiefengeothermie ist eine zuverlässige und stabile Art Strom zu erzeugen, die nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. Anlagen laufen in der Regel mit voller Leistung und sind wenig flexibel, um sich an Änderungen in der Stromnachfrage anzupassen. Sie nutzen lokal verfügbare Wärme und sind daher unabhängig von Brennstoffimporten.

Grosse Erdgaskraftwerke

Grosse Erdgaskraftwerke verwenden Erdgas als Brennstoff. Das Erdgas wird verbrannt und grosse Mengen an heissen Gasen entstehen. Diese treiben eine Turbine an und erzeugen dadurch Strom. Die Hitze der Gase kann zusätzlich Wasserdampf erzeugen und eine zweite Dampfturbine antreiben, die wiederum Strom erzeugt. Mit der überschüssigen Wärme können nahegelegene Häuser geheizt werden. Falls es in der Umgebung keine Abnehmer für Wärme gibt, wird sie durch Fluss- oder Seewasser gekühlt oder in einem Kühlturm in Wasserdampf umgewandelt und in die Luft ausgestossen.



Heutige Situation

Etwa 40 Erdgaskraftwerke in verschiedenen Industriegebieten erzeugen 1 Milliarde kWh Strom pro Jahr (1.5 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von ungefähr 140'000 Haushalten. Dabei handelt es sich bisher aber vor allem um relativ kleine Kraftwerke.



Zukünftige Situation

Allein die Infrastruktur für den Gasimport und verfügbare Standorte limitieren den Bau neuer Erdgaskraftwerke. Analysen ergeben, dass schätzungsweise 28 Milliarden kWh Strom erzeugt werden könnten (d.h. für 4 Millionen Haushalte). Ebenfalls ist es möglich, dass bestehende Anlagen wegen ihres Einflusses auf den Klimawandel abgeschaltet werden.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

Ein durchschnittliches Schweizer Erdgaskraftwerk erzeugt jährlich 25 Millionen kWh Strom (für ca. 3'600 Haushalte). Allerdings könnte ein einzelnes neues Kraftwerk bis zu 7 Milliarden kWh Strom pro Jahr (1.1 Millionen Haushalte) oder mehr erzeugen.



Einfluss auf den Klimawandel

Durch die Verbrennung von Erdgas werden direkt Treibhausgase ausgestossen, die den Klimawandel beeinflussen. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Abbaus und des Transports des Erdgases, werden 600 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom ausgestossen.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Durch Verbrennung von Erdgas werden direkt bestimmte Gase ausgestossen, vor allem Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf. Der Ausstoss von Feinstaub nahe der Kraftwerke ist gering. Wird der gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Abbau von Erdgas und Rohstoffen für den Bau der Kraftwerke, dann werden 150 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom ausgestossen. Zu einem gewissen Grad entstehen Schwefeldioxide (SO₂) und Stickoxide (NO_x), welche zu Smog und saurem Regen beitragen.



Einfluss auf Gewässer

Erdgaskraftwerke brauchen mittlere Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt zurück gespeist, was zu einer Wärmebelastung führt. Meistens werden mit der überschüssigen Wärme jedoch Häuser geheizt. Wird ein Kühlturm verwendet, so verdampft das Wasser in die Atmosphäre. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg benötigt die Gewinnung von Erdgas grosse Mengen Wasser.

Grosse Erdgaskraftwerke



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Erdgaskraftwerk etwa 340 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Die Fläche wird für die Gewinnung von Gas im Ausland gebraucht, sowie in der Schweiz am Ort, wo das Kraftwerk steht. Für die Gewinnung von Gas muss an Land oder im Meer in den Boden gegraben werden. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch den Bau der Kraftwerke in der Schweiz und durch den Abbau des Erdgases im Ausland gehen Lebensräumen verloren. Dies kann problematisch sein, wenn unbesiedelte Orte hoher Tier- und Pflanzenvielfalt zerstört werden, besonders beim Abbau von Erdgas an Land oder im Ozean. Wenn Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet wird, beeinflusst die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen. Der Einfluss auf die lokale Umgebungsluft im Ausland kann Tiere und Pflanzen zusätzlich beeinflussen.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für grosse Erdgaskraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 120 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Die meisten Unfälle finden beim Abbau von Erdgas statt. Unfälle bei den Kraftwerken selbst sind seltener. Im Falle eines Unfalls kann die Anzahl Todesopfer und die Höhe der wirtschaftlichen Schäden stark schwanken. Beispielsweise führte eine Explosion in einem grossen Kraftwerk in Connecticut, USA, 2010 zu 5 Todesopfern.



Rohstoffe und Abfälle

Die globale Verfügbarkeit von Erdgas ist begrenzt. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom 2.6 kWh nicht-erneuerbare Energie, einschliesslich Erdgas als Brennstoff und Energie für den Bau der Kraftwerke. Die Erzeugung von 1 kWh Strom aus Erdgas führt zudem zu 4'700 Milligramm Feststoffabfällen, besonders während des Baus und des Rückbaus der Anlagen. Diese Abfälle sind grösstenteils ungiftig.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Erdgaskraftwerken schwanken heute zwischen 8 und 14 Rp. pro kWh. Die Kosten für den Bau der Kraftwerke sind relativ gering. Der Grossteil der Kosten verursacht die Beschaffung von Erdgas während dem Betrieb. Für die Zukunft werden Kosten von 10 bis 22 Rp. pro kWh erwartet. Diese Kosten hängen vor allem von den Gaspreisen ab.



Versorgungssicherheit

Erdgaskraftwerke sind eine zuverlässige und stabile Art Strom zu erzeugen, die nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. Diese Kraftwerke können flexibel auf die Stromnachfrage reagieren. Erdgaskraftwerke sind abhängig von Gas, das importiert wird. Obwohl globale Gasvorkommen begrenzt sind, lassen aktuelle Analysen vermuten, dass diese Reserven noch viele Jahrzehnte ausreichen. Der Handel von Erdgas hängt von geopolitischen Spannungen und Risiken ab.

Biomassekraftwerke (Holz)

Biomassekraftwerke (Holz) verwenden als Brennstoff verschiedene Arten von Holz niedriger Qualität, wie Holzschnitzel, Pellets, Altholz, Sägemehl, Restholz aus Wäldern oder Rinde. Die Kraftwerke stehen oft nahe bei Holzverarbeitenden Industrien. Das Holz wird direkt verbrannt oder zuerst zu Biogas umgewandelt und dann verbrannt. Mit der Hitze aus dem



Verbrennungsprozess wird Wasserdampf erzeugt, der eine Dampfturbine antreibt und Strom erzeugt. Mit der überschüssigen Wärme können nahegelegene Häuser geheizt werden. Oft ist das Ziel in erster Linie Wärme zu erzeugen und nicht Strom.



Heutige Situation

70 grosse und tausende kleine Kraftwerke erzeugen 200 Millionen kWh Strom pro Jahr (0.3 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von etwa 26'000 Haushalten. Diese sind über die ganze Schweiz verteilt.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch Biomassekraftwerke erzeugt werden kann, wird auf bis zu 1 Milliarde kWh jährlich geschätzt (d.h. 140'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 16 % ihres gesamten Potenzials für Biomassekraftwerke.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Biomassekraftwerk jährlich 800'000 kWh Strom (für mehr als 100 Haushalte). Zum Beispiel erzeugt das Biomassekraftwerk in Basel 18 Millionen kWh jährlich, kleine Kraftwerke erzeugen teilweise nur 80'000 kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Durch Verbrennen von Biomasse entweichen Treibhausgase (CO_2). Da Holz für sein Wachstum jedoch Treibhausgase (CO_2) aufnimmt, wird der Klimawandel nur gering beeinflusst. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Sammlung und des Transports von Holz, entweichen 46 Gramm $\text{CO}_2\text{-eq}$ pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Durch Verbrennung von Biomasse entweichen verschiedene Gase, vor allem Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasserdampf. Der Ausstoss von Feinstaub, besonders in der Nähe kleiner Kraftwerke, ist hoch. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Sammlung und des Transports von Holz, werden 2'970 Milligramm $\text{PM}_{10\text{-eq}}$ pro kWh erzeugtem Strom ausgestossen. Zu einem gewissen Grad entstehen Schwefeldioxide (SO_2) und Stickoxide (NO_x), was zu Smog und saurem Regen beiträgt.



Einfluss auf Gewässer

Biomassekraftwerke (Holz) brauchen mittlere Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt zurück gespeist, was zu einer Wärmebelastung führt. Meistens werden mit der überschüssigen Wärme jedoch Häuser geheizt. Über den ganzen Herstellungsweg hinweg verbraucht das Wachstum des Holzes theoretisch grosse Mengen an Wasser. Da in der Schweiz aber vor allem Holz niedriger Qualität verwendet wird, welches nicht anderweitig verwendet würde, kann dieser Einfluss vernachlässigt werden.

Biomassekraftwerke (Holz)



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein Biomassekraftwerk (Holz) bis zu 12'600 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Fläche wird für das Wachstum des Holzes gebraucht. Da in der Schweiz aber vor allem Holz niedriger Qualität verwendet wird, wie Restholz, wird kaum zusätzliche Fläche für die Stromerzeugung alleine beansprucht. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Da in der Schweiz Holz niedriger Qualität verwendet wird, entstehen keine Einflüsse auf die Wälder als Lebensräume für Tiere und Pflanzen. Wenn Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet wird, beeinflusst die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen. Der Einfluss auf die lokale Umgebungsluft kann Tiere und Pflanzen zusätzlich beeinflussen.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Biomassekraftwerke (Holz) in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, niedrig. Obwohl umfassende Daten fehlen, kommt im Durchschnitt auf 6'000 Milliarden bis 9'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen. Beispielsweise führte eine Explosion in Nordrhein-Westfalen, Deutschland, 2010 zu 3 Todesopfern.



Rohstoffe und Abfälle

Biomasse wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.2 kWh nicht-erneuerbare Energie, vor allem für die Sammlung und den Transport von Holz. Über die Menge an Feststoffabfällen gibt es wenige verlässliche Daten. Teile dieser Abfälle, besonders Ascherückstände nach der Verbrennung, können giftige Eigenschaften aufweisen.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Biomassekraftwerken (Holz) schwanken heute zwischen 24 und 30 Rp. pro kWh. Die Herstellung und der Betrieb der Kraftwerke, sowie die Beschaffung des Holzes, sind mit erheblichen Kosten verbunden. Für die Zukunft werden Kosten zwischen 16 und 32 Rp. pro kWh erwartet.



Versorgungssicherheit

Biomassekraftwerke (Holz) sind eine zuverlässige und stabile Art Strom zu erzeugen, die nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. Da Holz gut gelagert werden kann, können sich diese Kraftwerke an saisonale Unterschiede in der Stromnachfrage anpassen. Kraftwerke, die Holz in Öfen verbrennen, sind allerdings weniger flexibel, um sich schnell anzupassen. Solange das Holz aus der Schweiz stammt, hängen die Kraftwerke von lokal verfügbaren Brennstoffen ab und sind daher unabhängig von Importen.

Biogasanlagen

Biogasanlagen verwenden als Brennstoff biogene Abfälle, wie Gülle und Mist aus der Landwirtschaft, Grünabfälle von Privathäusern und Industrie oder Klärschlamm. Die Abfälle werden eingesammelt, zerkleinert und in einem sogenannten Fermenter gelagert, bis Mikroorganismen sie in Biogas (ähnlich wie Erdgas) und Abfallprodukte umgewandelt haben.



Das Biogas wird dann verbrannt und die entstandene Hitze wird verwendet, um Wasserdampf zu erzeugen. Der Dampf treibt dann eine Dampfturbine an und erzeugt Strom. Mit der überschüssigen Wärme können nahegelegene Häuser geheizt werden.



Heutige Situation

Mehr als 400 Biogasanlagen erzeugen total 300 Millionen kWh Strom pro Jahr (0.4 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 40'000 Haushalten. Die Anlagen sind in der ganzen Schweiz in ländlichen Gebieten zu finden.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, die Biogasanlagen erzeugen können, wird auf bis zu über 1 Milliarde kWh jährlich geschätzt (d.h. 160'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 20 % ihres gesamten Potenzials für Biogasanlagen.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt eine durchschnittliche Biogasanlage jährlich 700'000 kWh Strom (für ca. 100 Haushalte). Grössere Anlagen erzeugen mehr als 1 Millionen kWh jährlich, kleinere nur 300'000 kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Durch Verbrennen von Biogas entweichen Treibhausgase (CO₂). Da liegengelassene Abfälle aber auch Treibhausgase ausstossen, wird der Klimawandel kaum beeinflusst. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Sammlung und des Transports von Abfällen, entweichen 347 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Durch Verbrennen von Biogas entweichen verschiedene Gase, vor allem Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf. Der Ausstoss von Feinstaub durch Biogasanlagen ist gering. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Sammlung und des Transports von Abfällen, entweichen 50 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Biogasanlagen verursachen leichte Luftverschmutzung mit Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxiden (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beitragen.



Einfluss auf Gewässer

Biogasanlagen brauchen mittlere Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt zurück gespeist, was zu einer Wärmebelastung führt. Meistens werden mit der überschüssigen Wärme jedoch Häuser geheizt. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg enthalten die biogenen Abfälle, wie Essensreste oder Klärschlamm, grosse Mengen an Wasser. Da das Wasser aber nicht für andere Zwecke verwendet würde, ist dieser Einfluss vernachlässigbar.

Biogasanlagen



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht eine Anlage etwa 160 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Fläche brauchen der Fermenter und das Kraftwerk selbst. Da Biogas aus Abfallstoffen, wie Gülle oder Grünabfällen, erzeugt wird, wird die Fläche für den Anbau und die Verarbeitung dieser Abfälle nicht eingerechnet. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch den Bau der Anlagen geht Landfläche verloren. Meist werden sie aber nahe an Bauernhöfen, Kläranlagen oder Industrien gebaut, was nur zu geringen Verlusten von Lebensräumen führt. Wenn Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet wird, beeinflusst die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen. Der Einfluss auf die lokale Umgebungsluft kann Tiere und Pflanzen zusätzlich beeinflussen.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Biogasanlagen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 6'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen. Beispielsweise führte eine Explosion in Zeven, Deutschland, 2005 zu 4 Todesopfern.



Rohstoffe und Abfälle

Gülle, Klärschlämme und andere biogene Abfälle werden als erneuerbare Brennstoffe verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.7 kWh nicht-erneuerbare Energie, besonders für den Bau der Anlagen, sowie für die Sammlung und den Transport der Abfälle. Es gibt wenige verlässliche Daten über die erzeugte Menge Feststoffabfälle. Einige diese Abfälle können giftige Eigenschaften aufweisen.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Biogasanlagen schwanken heute zwischen 16 und 26 Rp. pro kWh. Sowohl die Herstellung und der Betrieb der Anlagen, als auch die Beschaffung der Abfälle, ist mit erheblichen Kosten verbunden. Für die Zukunft werden gleichbleibende Kosten erwartet.



Versorgungssicherheit

Biogasanlagen sind eine zuverlässige, stabile und flexible Art Strom zu erzeugen, die nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. Da biogene Brennstoffe gut gelagert werden können, kann eine Biogasanlage flexibel auf Änderungen der Stromnachfrage reagieren. Solange die Abfälle aus der Schweiz stammen, hängen die Kraftwerke von lokal verfügbaren Brennstoffen ab und sind daher unabhängig von Importen.

Kehrichtverbrennungsanlagen

Kehrichtverbrennungsanlagen verwenden als Brennstoff Haushalts- und teilweise Industriemüll. Die Abfälle werden in grossen Öfen verbrannt. Es entsteht Hitze, mit welcher Wasserdampf erzeugt wird. Der Dampf treibt eine Dampfturbine an und erzeugt Strom. Mit der überschüssigen Wärme können Häuser in der Umgebung geheizt werden.



Oftmals ist das Ziel von Kehrichtverbrennungsanlagen in erster Linie die Menge der Abfälle in den Deponien zu reduzieren und Wärme zu erzeugen und nicht Strom zu erzeugen.



Heutige Situation

30 grössere und 70 kleinere Anlagen erzeugen zusammen 2 Milliarden kWh Strom pro Jahr (3.2 % der Schweizer Stromerzeugung). Dies entspricht dem jährlichen Stromverbrauch von 300'000 Haushalten. Die Anlagen stehen meist in grossen Städten.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche durch den Ausbau und Neubau von Kehrichtverbrennungsanlagen erzeugt werden kann, veränderte Abfallmengen eingerechnet, wird auf 1 Milliarde kWh jährlich geschätzt (d.h. 180'000 Haushalte). Die Schweiz nützt heute 60 % ihres gesamten Potenzials für Kehrichtverbrennungsanlagen.



Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt eine durchschnittliche Anlage jährlich 60 Millionen kWh Strom (für ca. 8'000 Haushalte). Zum Beispiel erzeugt die Anlage Zuchwil in Solothurn 130 Millionen kWh jährlich, die Anlage in Gamsen im Wallis nur 1 Million kWh.



Einfluss auf den Klimawandel

Durch die Abfallverbrennung entweichen Treibhausgase (CO₂). Da diese Abfälle aber auch sonst Treibhausgase ausstossen, wird der Klimawandel kaum beeinflusst. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich der Sammlung und des Transports der Abfälle, entweichen 7 Gramm CO_{2eq} pro kWh erzeugtem Strom.



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Durch Verbrennen von Abfällen entweichen verschiedene Gase, vor allem Kohlenstoffdioxid (CO₂) und Wasserdampf. Der Ausstoss von Feinstaub durch Kehrichtverbrennungsanlagen ist gering. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, einschliesslich des Baus der Anlagen und der Sammlung und des Transports von Abfällen, entweichen 40 Milligramm PM_{10eq} pro kWh erzeugtem Strom. Kehrichtverbrennungsanlagen verursachen leichte Luftverschmutzung mit Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxiden (NO_x), die zu Smog und saurem Regen beiträgt.



Einfluss auf Gewässer

Kehrichtverbrennungsanlagen brauchen mittlere Mengen Wasser, um nach der Stromerzeugung den Dampf zu kühlen. Wird dafür Fluss- oder Seewasser verwendet, wird dieses erhitzt zurück gespeist, was zu einer Wärmebelastung der Gewässer führt. Meistens werden mit der überschüssigen Wärme jedoch Häuser geheizt. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg enthalten die Abfälle, besonders die biogenen, grosse Mengen Wasser. Da dieses Wasser aber nicht für andere Zwecke verwendet würde, ist dieser Einfluss vernachlässigbar.

Kehrichtverbrennungsanlagen



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Kehrichtverbrennungsanlagen brauchen Fläche am Ort, wo die Anlage steht, sowie für die Sammlung und den Transport von Abfällen und für die Lagerung von Reststoffen nach der Verbrennung. Durch die Verbrennung von Abfällen werden jedoch gleichzeitig grössere Flächen für Deponien eingespart. Daher reduzieren diese Anlagen den Flächenverbrauch. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Der Bau von Kehrichtverbrennungsanlagen und damit zusammenhängender Infrastruktur benötigt etwas Land. Grössere Flächen für Deponien werden jedoch eingespart. Wenn Fluss- oder Seewasser für die Kühlung des Dampfes verwendet wird, beeinflusst die Wärmebelastung Wassertiere und -pflanzen. Der Einfluss auf die lokale Umgebungsluft kann Tiere und Pflanzen zusätzlich beeinflussen.



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Kehrichtverbrennungsanlagen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, niedrig. Obwohl umfassende Daten fehlen, kommt im Durchschnitt auf 6'000 bis 9'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen.



Rohstoffe und Abfälle

Siedlungsabfälle werden grundsätzlich als erneuerbaren Brennstoff verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom 0.02 kWh nicht-erneuerbare Energie, besonders für den Bau der Anlagen, sowie für die Sammlung und den Transport der Abfälle. Kleine Mengen giftiger Asche bleiben nach dem Verbrennen übrig, welche in speziellen Deponien gelagert werden müssen.



Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Kehrichtverbrennungsanlagen schwanken heutzutage zwischen 5 und 13 Rp. pro kWh. Sowohl die Herstellung und der Betrieb der Anlagen, als auch die Beschaffung der Abfälle, tragen zu den Kosten bei. Kehrichtverbrennungsanlagen reduzieren allerdings andere Kosten für die Gesellschaft, zum Beispiel für die Erweiterung und den Unterhalt von Deponien. Für die Zukunft werden gleichbleibende Kosten erwartet.

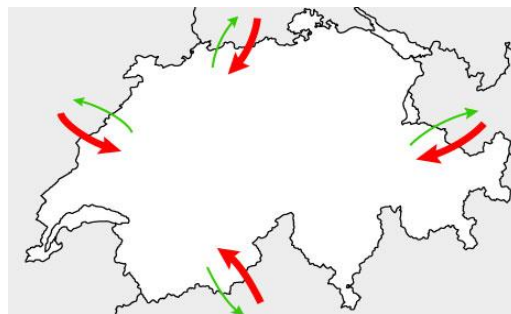


Versorgungssicherheit

Kehrichtverbrennungsanlagen sind eine zuverlässige und stabile Art Strom zu erzeugen, die prinzipiell nicht von saisonalen oder täglichen Wetterbedingungen abhängt. Diese Anlagen laufen in der Regel mit voller Leistung und sind wenig flexibel, um sich an Änderungen in der Stromnachfrage anzupassen. Sie benötigen lokal verfügbare Brennstoffe und sind daher unabhängig von Importen.

Stromimporte aus dem Ausland

Das Schweizer Stromnetz ist mit dem Netz von Frankreich, Deutschland, Österreich, Italien und Lichtenstein verbunden. Jeden Tag wird Strom in die Schweiz importiert und auch exportiert, abhängig von den unterschiedlichen Strompreisen, der Nachfrage und der erzeugten Menge Strom in den verschiedenen Ländern. Es kann sein, dass die Schweiz über ein ganzes Jahr hinweg mehr Strom importiert als exportiert. Dies wären sogenannte Netto Importe. Würde sich die Schweiz dafür entscheiden, langfristig einen Teil des Strombedarfs durch Netto Importe zu decken, würden weniger Kraftwerke in der Schweiz nötig.



Heutige Situation

42 Milliarden kWh werden pro Jahr importiert und 43 Milliarden kWh exportiert, was zu 1 Milliarde kWh Netto Export führt und zu keinem Netto Import. Diese Angaben ändern allerdings von Jahr zu Jahr.



Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, die in die Schweiz importiert oder aus der Schweiz exportiert werden könnte, hängt prinzipiell davon ab, ob entschieden wird die Verbindungen der Stromnetze zwischen den Ländern auszubauen. Analysen haben bisher eine mögliche Höchstmenge von 22 Milliarden kWh Netto Import (Importe minus Exporte) jährlich ergeben, was dem Stromverbrauch von mehr als 3 Millionen Haushalten entspricht.



Kapazität der Stromnetze

Der Stromaustausch mit anderen Ländern kann flexibel verstärkt oder reduziert werden. Derzeit stammen 60% der Importe aus Frankreich, 26% aus Deutschland, 12% aus Österreich und 2% aus Italien. Diese Angaben ändern allerdings von Jahr zu Jahr.



Einfluss auf den Klimawandel

Der Einfluss auf den Klimawandel durch Stromimporte hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, stösst Strom aus Frankreich durchschnittlich 60 Gramm CO_{2eq} pro kWh aus (v.a. Atomkraftwerke), solcher aus Deutschland 610 Gramm (v.a. Kohle- und Gaskraftwerke), aus Österreich 170 Gramm (v.a. Wasserkraftwerke), und aus Italien 500 Gramm (v.a. Gas- und Kohlekraftwerke).



Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Der Einfluss auf die Umgebungsluft hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Dort würde auch der Einfluss stattfinden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, stösst Strom aus Frankreich durchschnittlich über 310 Milligramm PM_{10eq} pro kWh aus, Strom aus Deutschland 4'000 Milligramm, aus Österreich 700 Milligramm, und aus Italien 1'900 Milligramm. Strom aus Deutschland und Frankreich stösst Schwefeldioxid (SO₂) und Stickoxide (NO_x) aus, was zu einem gewissen Grad zu Smog und saurem Regen beiträgt.



Einfluss auf Gewässer

Der Einfluss auf Gewässer durch Importe hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Dort würde auch der Einfluss stattfinden. In allen Ländern, aus denen die Schweiz Strom importiert, hat die Stromerzeugung einen grossen bis sehr grossen Einfluss auf Gewässer. In Frankreich vor allem durch Atomkraftwerke, in Deutschland und Italien durch Kohle- und Gaskraftwerke und in Österreich durch Wasserkraftwerke.

Stromimporte aus dem Ausland



Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Der Einfluss auf die Bodennutzung durch Importe hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Dort findet auch der Einfluss statt. Der Landverbrauch durch Atomkraftwerke in Frankreich ist vergleichsweise gering. In Deutschland und Italien ist der Einfluss mässig, da Kohle- und Gaskraftwerke nur mittlere Mengen Fläche brauchen. Wegen dem hohen Anteil Wasserkraftwerke braucht Strom aus Österreich relativ viel Land.



Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Der Einfluss auf Tiere und Pflanzen durch Importe hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Dort findet auch der Einfluss statt. Die Stromerzeugung in allen Nachbarländern ist mit erheblichen Einflüssen auf Tiere und Pflanzen verbunden, durch Atomkraftwerke in Frankreich (Landverlust, Wärmebelastung), Kohle- oder Gaskraftwerke in Deutschland und Italien (Landverlust, Wärmebelastung von Gewässern, Luftverschmutzung) und Wasserkraftwerke in Österreich (Landverlust, Wassertiere und -pflanzen).



Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle hängt für Importe davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wird. Frankreich hat viele Atomkraftwerke, für die auf 1'200 Milliarden kWh ein Todesfall kommt. Deutschland und Italien haben viele Kohle- und Gaskraftwerke, für die auf 70 Milliarden (Kohlekraftwerke) bzw. 120 Milliarden kWh (Gaskraftwerke) erzeugten Stroms ein Todesfall kommt. Österreich hat vor allem Wasserkraftwerke, für die auf 3'000 Milliarden kWh ein Todesfall kommt. Typische Unfälle bei diesen Kraftwerken können zu vielen Todesopfern und hohen wirtschaftlichen Schäden führen. Diese Folgen würden nicht in der Schweiz auftreten.



Rohstoffe und Abfälle

Der Einfluss auf Rohstoffe und Abfälle durch Importe hängt davon ab, wo und wie der Strom erzeugt wurde. Die Atomkraft aus Frankreich benötigt den nicht-erneuerbare Brennstoff Uran und trägt zum radioaktiven Abfall bei. Strom aus Deutschland und Italien benötigt grosse Mengen an nicht-erneuerbarer Energie für Kohle- und Gaskraftwerke, die zudem erhebliche Mengen Abfall erzeugen. Der Einfluss von Strom aus Österreich ist eher mittelmässig, aufgrund des hohen Anteils Wasserkraft.



Stromkosten

Die Kosten von importiertem Strom hängen davon ab, wo die Importe herkommen. Derzeit kostet Strom aus Frankreich durchschnittlich 5 Rp. pro kWh, solcher aus Deutschland 4 Rp. pro kWh, aus Italien 6 Rp. pro kWh und aus Österreich 4 Rp. pro kWh. Für die Zukunft hängen die Kosten davon ab, auf welche Art in diesen Ländern künftig Strom erzeugt wird.



Versorgungssicherheit

Stromimporte aus dem Ausland sind eine zuverlässige und stabile Art Strom zu beschaffen, die flexibel an die Bedürfnisse der Schweiz angepasst werden kann. Ausserdem ist es eine Möglichkeit von Kostenunterschieden zu profitieren. Da die Stromerzeugung in anderen Ländern auch von deren Entscheidungen abhängt, bedeutet ein grosser Anteil an Importen auch eine Abhängigkeit von Entscheidungen anderer Länder.

Strombedarf senken

Wenn weniger Strom in der Schweiz verbraucht wird, muss auch weniger Strom erzeugt oder importiert werden. Der Strombedarf kann durch Sparen von Strom oder durch die effizientere Nutzung des Stroms gesenkt werden. Strom zu sparen erfordert Verhaltensveränderungen, zum Beispiel, dass nicht genutzte Lampen, Haushaltgeräte oder Geräte im Stand-by-Modus ausgeschaltet werden. Eine andere Möglichkeit ist der Kauf von energieeffizienten Geräten. Der Strom kann effizienter genutzt werden, wenn energieeffiziente Geräte, wie Glühbirnen oder Kühlschränke, gekauft werden. Typischerweise zeigt ein Energielabel auf den Geräten wie effizient diese sind.



Zukünftige Situation

Verhaltensänderungen und Effizienzsteigerung könnten, mit Blick auf alle Sektoren (z.B. Haushalte, Industrie, Transport), den Stromverbrauch um fast 7 Milliarden kWh jährlich senken (entspricht dem heutigen Verbrauch von bis zu 1 Million Haushalte).



Einfluss auf den Klimawandel, die lokale Umgebungsluft, Gewässer, die Landschaft und die Bodennutzung, Tiere und Pflanzen, Unfälle und Risiken, sowie Rohstoffe und Abfälle

Wenn aufgrund von Verhaltensänderungen oder Effizienzsteigerung weniger Strom verbraucht wird, dann muss auch weniger Strom erzeugt werden. Dadurch werden die negativen Einflüsse der Stromerzeugung auf den Klimawandel, die lokale Umgebungsluft, Gewässer, die Landschaft und die Bodennutzung, Tiere und Pflanzen, Unfälle oder Rohstoffe und Abfälle verringert. Werden allgemein weniger Geräte gekauft, können negative Einflüsse durch die Herstellung und den Transport der Geräte vermieden werden. Ob effiziente oder wenig effiziente Geräte gekauft werden verändert die negativen Einflüsse durch deren Herstellung nicht.



Stromkosten

Wenn in der Schweiz weniger Strom benötigt wird und hergestellt werden muss, können im Prinzip günstigere Arten der Stromerzeugung bevorzugt und teurere Arten ausgeschlossen werden. Dadurch sinken die gesamten Stromkosten in der Schweiz. Obwohl einige energieeffiziente Geräte bei der Anschaffung teurer sein können als die herkömmlichen Geräte, werden diese Mehrkosten meistens durch geringere Stromkosten kompensiert.



Versorgungssicherheit

Je weniger Strom hergestellt werden muss, desto mehr Arten der Stromerzeugung stehen zur Verfügung für die optimale Versorgungssicherheit. Jedoch kann sich der relative Anteil von wetterabhängigen Windkraftwerken und Solarzellen (Photovoltaik) erhöhen. Dadurch entstehen neue Unsicherheiten, bzw. es bedarf einer Stromversorgung die flexibler reagieren kann.

Danksagung und Quellenangaben

Diese Faktenblätter wurden durch das Team des Projekts "Risiko-GOverNance von ElektrizitätsportfolioS (RIGOROUS): Abwägung von Risiken unterschiedlicher Technologien und deren Standortwahl" an der ETH Zürich erstellt. Dieses Projekt wird finanziert durch den Schweizer Nationalfonds (Fonds Nr. 160563).

Statistiken und Daten zu den Potenzialen der Kraftwerke

Informationen zur heutigen Stromerzeugung (Jahr 2015) in der Schweiz und die zukünftigen Potenziale der Kraftwerke stammen aus folgenden Quellen:

- . 2013. Dialog Neue Energiepolitik. Energiestrategie 2050 aus Sicht des Energie Dialogs. Schlussbericht der Lenkungsgruppe. Energie Dialog: Zürich.
- Bundesamt für Energie. 2012. Das Potenzial der erneuerbaren Energien bei der Elektrizitätsproduktion. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2012. Wasserkraftpotenzial der Schweiz. Abschätzung des Ausbaupotenzials der Wasserkraftnutzung im Rahmen der Energiestrategie 2050. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2015. Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2015. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Statistik der Wasserkraftanlagen der Schweiz. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2016. Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz. Ausgabe 2015. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2017. Aussenhandel der Schweiz mit Elektrizität nach Ländern. Bundesamt für Energie: Bern.
- Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation. 2017. Faktenblatt «Abstimmung Energiegesetz - Überblick». Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation: Bern.
- Hirschberg S., Bauer C., Bäuerle Y., Biollaz S., Burgherr P., Cox B., et al. 2016. Perspectives for Swiss electricity supply: Potentials, costs and environmental assessment. Poster at the Swiss Competence Center for Energy Research-Supply of Electricity conference, 12 - 13 September 2016, Sion.
- Hirschberg S., Wiemer, S., Burgherr, P. 2014. Energy from the Earth: Deep geothermal as a resource for the future? TA Swiss Geothermal Project Final Report. TA Swiss: Bern.
- Hüsser P. 2015. National Survey Report of PV Power Applications in Switzerland 2014. International Energy Agency: Paris.
- Pöyry. 2012. Angebot und Nachfrage nach flexiblen Erzeugungskapazitäten in der Schweiz. Pöyry Management Consulting: Zürich.
- Schweizerische Eidgenossenschaft. 2017. Geokatalog. Verfügbar unter: <https://map.geo.admin.ch/>.
- Verband der Betreiber Schweizerischer Abfallverwertungsanlagen. 2015. Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren. Bundesamt für Umwelt, Bundesamt für Energie: Bern.
- Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. 2012. Wege in die neue Stromzukunft. Gesamtbericht. Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen: Aarau.
- Volkart K., Bauer C., Burgherr P., Hirschberg S., Schenler W., Spada M. 2016. Interdisciplinary assessment of renewable, nuclear and fossil power generation with and without carbon capture and storage in view of the new Swiss energy policy. International Journal of Greenhouse Gas Control 54, 1-14.

Daten zu den Einflüssen

Daten zu den Einflüssen der Stromerzeugung stammen aus folgenden Quellen:

- Arup. 2016. Review of Renewable Electricity Generation Cost and Technical Assumptions. UK Department of Energy and Climate Change: London.
- Bauer C., Frischknecht R., Eckle P., Flury K., Neal T., Papp K., et al. 2012. Umweltauswirkungen der Stromerzeugung in der Schweiz. ESU-services GmbH und Paul Scherrer Institut: Uster und Villigen.
- Burgherr P., Hirschberg S. 2014. Comparative risk assessment of severe accidents in the energy sector. Energy Policy 74 (S1), S45-S56.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz. Katastrophen und Notlagen Schweiz 2015. Bundesamt für Bevölkerungsschutz: Bern.
- Bundesamt für Energie. 2017. Aussenhandel der Schweiz mit Elektrizität nach Ländern. Bundesamt für Energie: Bern.
- Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 2011. Erneuerbare Energien Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Berlin.

- Department for Business, Energy and Industrial Strategy. 2016. Electricity generation costs. Department for Business, Energy and industrial Strategy: London.
- Fleishman L. A., De Bruin W. B., Morgan, M. G. 2010. Informed public preferences for electricity portfolios with CCS and other low-carbon technologies. Risk Analysis 30 (9), 1399-1410.
- Fraunhofer ISE. 2013. Levelized cost of electricity. Renewable energy technologies. Fraunhofer ISE: Freiburg, Germany.
- Fthenakis V., Kim H. C. 2009. Land use and electricity generation: A life-cycle analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 1465-1474.
- Hertwich E. G., Gibon T., Bouman E. A., Arvesen A., Suh S., Heath G. A. et al. 2015. Integrated life-cycle assessment of electricity-supply scenarios confirms global environmental benefit of low-carbon technologies. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 12(20): 6277–6282.
- Hirschberg S., Bauer C., Bäuerle Y., Biollaz S., Burgherr P., Cox B., et al. 2016. Perspectives for Swiss electricity supply: Potentials, costs and environmental assessment. Poster at the Swiss Competence Center for Energy Research-Supply of Electricity conference, 12 - 13 September 2016, Sion.
- Hirschberg S., Wiemer, S., Burgherr, P. 2014. Energy from the Earth: Deep geothermal as a resource for the future? TA Swiss Geothermal Project Final Report. TA Swiss: Bern.
- Masanet E., Chang Y., Gopal A. R., Larsen P., Morrow W.R., Sathre R. et al. 2013. Life-Cycle Assessment of Electric Power Systems. Annual Review of Environment and Resources 38:107–36.
- Meldrum J., Nettles-Anderson S., Heath G., Macknick J. 2013. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. Environmental Research Letters 8 (015031), 1-18.
- Messmer A., Frischknecht R. 2016. Umweltbilanz Strommix Schweiz. Treeze Ltd., fair life cycle thinking: Uster.
- Sovacool B. K., Andersen R., Sorensen S., Sorensen K., Tienda V., Vainorius A., Schirach O.M., Bjørn-Thygesen F. 2016. Balancing safety with sustainability: assessing the risk of accidents for modern low-carbon energy systems. Journal of Cleaner Production 112, 3952-3965.
- Trutnevte E., Azevedo I.L. 2014. Induced seismicity hazard and risk by Enhanced Geothermal Systems: An expert elicitation approach. Environmental Research Letters 13(3): 03400.

Fotos und Symbole

Die Fotos der Kraftwerke stammen aus folgenden Quellen:

- Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke: "[Linthal, SKW, Speicherkraftwerk Linth-Limmern](#)" von Comet Photo AG (Zürich), verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten.
- Grosse Laufwasserkraftwerke: "[Laufenburg, von Süd-Westen, Kraftwerk Laufenburg, Umspannwerk, Rhein](#)" von Comet Photo AG (Zürich), verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten.
- Kleinwasserkraftwerke: "[Ottenbach, Wehr für Elektrizitätswerk](#)" von Mörsch, Georg, verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#).
- Atomkraftwerke: "[KKG, Kernkraftwerk Gösgen](#)" von Krebs, Hans, verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten.
- Solarzellen (Photovoltaik): "[Solar Panel Array](#)" von skeeze, verwendet unter [CC0](#).
- Windkraftwerke: "[Mont Crosin, Windkraftwerke, gehören zu verschiedenen Gemeinden](#)" von Comet Photo AG (Zürich), verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten.
- Tiefengeothermieanlagen: "[Geothermie-Projekt, 2013](#)" von St.Galler Stadtwerke, verwendet mit Erlaubnis von.
- Grosse Erdgaskraftwerke: "[Trianel GuD-Kraftwerk Hamm-Uentrop, Deutschland](#)" von Possi, verwendet unter [CC BY-SA 3.0](#).
- Biomassekraftwerke (Holz): "[Heizkraftwerk](#)" von Vogt, Jules, verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten
- Biogasanlage: "[Biogasanlage in Düdingen, Schweiz](#)" von Rüschi, Florian (ZHAW Environmental Biotechnology), verwendet mit Erlaubnis von.
- Kehrichtverbrennungsanlagen: "[Zürich, Kreis 12, Leutschenbach, Kehrichtverbrennungsanlage Hagenholz, KVA](#)" von Comet Photo AG (Zürich), verwendet unter [CC BY-SA 4.0](#) / Aus Originaldatei ausgeschnitten.
- Import von Strom aus dem Ausland: "[Switzerland - boundaries](#)" von d-maps.com, verwendet unter [Lizenz](#) / Legende aus Originaldatei entfernt, Pfeile und Farben hinzugefügt.
- Strombedarf senken (durch Verhaltensänderungen und effiziente Technologien): "[Efficiency](#)" von Tumisu, verwendet unter [CC0](#).

Symbole für die Eigenschaften "Heutige Situation", "Zukünftige Situation", "Einfluss auf Tiere und Pflanzen", "Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung", "Unfälle und Risiken" und "Stromkosten" wurden erstellt von Freepik (www.freepik.com) von www.flaticon.com, lizenziert durch die Creative Commons BY 3.0. Symbole für die Eigenschaften "Grösse eines einzelnen Kraftwerks", "Einfluss auf den Klimawandel", "Einfluss auf die lokale Umgebungsluft", "Einfluss auf Gewässer", "Rohstoffe und Abfälle" und "Versorgungssicherheit" stammen von iconmonstr.com.