

Energiepass Schweiz



Energie Club Schweiz
Club Energie Suisse
Club Energia Svizzera



Werden Sie Mitglied

Helfen Sie mit, den Weg aus der Sackgasse der falschen Energiewende zu finden.

Scannen Sie den QR-Code und werden Sie Mitglied beim Energie Club Schweiz.



Liebe Leserinnen, liebe Leser

Von einer zuverlässigen, sicheren Energieversorgung, insbesondere mit Strom, hängen unsere Lebensqualität und das Gedeihen von Wirtschaft und Gesellschaft ab. Was steckt hinter den Steckdosen, Stromleitungen und Kraftwerken? Alles rund um die Strom- und Energieversorgung der Schweiz hat der Energie Club Schweiz in diesem «Energiepass» einfach und verständlich zusammengestellt.

Damit möchten wir Bürgerinnen und Bürger, die ja über die Energiepolitik entscheiden, die wichtigsten Fakten in die Hand geben. Gleichzeitig möchten wir Jung und Alt motivieren, sich mit den spannenden Grundlagen und Zusammenhängen von Energie und Klima zu befassen. Schreiben Sie an info@energieclub.ch, wenn Sie etwas vermissen oder nicht verstehen, damit wir diesen «Energiepass» noch verbessern können.

Viel Vergnügen bei der Lektüre!

Vanessa Meury, Präsidentin Energie Club Schweiz

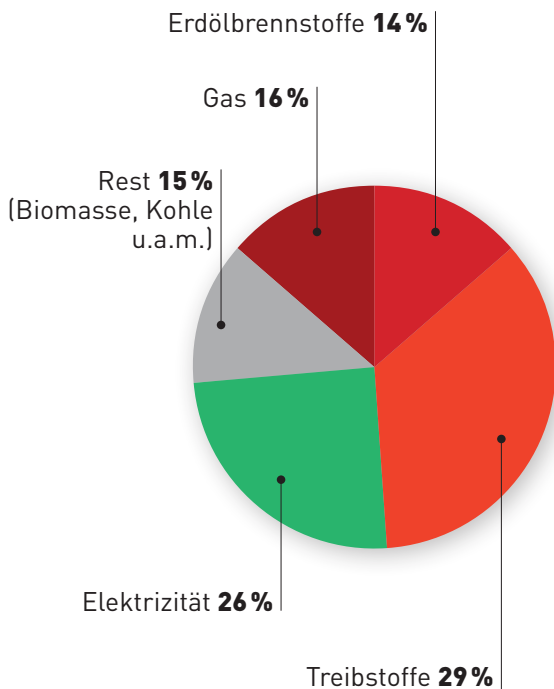
Herausgeber: Energie Club Schweiz

3. Auflage, Oktober 2022

Bezug bei:
Energie Club Schweiz
Christoffelgasse 3
3011 Bern

INHALTSVERZEICHNIS

Energie	6
Elektrizität	8
Energie messen	10
Leistung messen	11
Energieumwandlung	12
Stromnetz	14
Stromhandel	16
Klima	18
Wo ist das Problem?	20
Versorgungssicherheit	22
Strommangellage	24
Was ist zu tun?	26
Wir haben ein kurzfristiges Problem!	28
Wir haben ein langfristiges Problem!	30
Kernenergie	32
Atommüll	34
Radioaktivität	38
Glossar	40



Energie ist die Lebensader von Wirtschaft und Gesellschaft

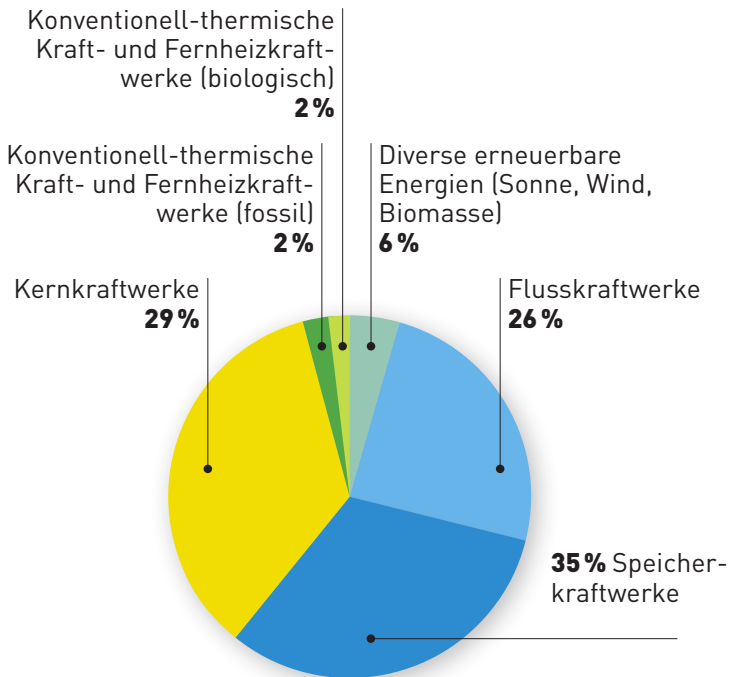
Moderne Volkswirtschaften und Gesellschaften wie die der Schweiz benötigen Energie. Energie für Industrie, Gewerbe, Dienstleistungsbetriebe, Haushalte und Verkehr. Ohne Energie läuft nichts! Energie gibt es in verschiedenen Formen: Erdgas, Erdöl, Elektrizität, Biomasse.

In der Schweiz stammen rund 59 Prozent aus fossilen Energieträgern. 26 Prozent sind Elektrizität.

Quelle:

Gesamtenergiestatistik 2021, Bundesamt für Energie

ELEKTRIZITÄT



In der Schweiz stammen 61 % elektrische Energie aus Wasserkraft, 29 % aus Kernenergie, ein kleiner Rest aus Kehrrechtverbrennungsanlagen und 6 % aus erneuerbaren Energien. Der Produktionsmix zeigt, dass die Schweizer Stromversorgung fast vollkommen CO₂-frei und damit sehr klimafreundlich ist.

Strom ist ein besonderer Saft

Eine besondere Rolle im Schweizer Energiemix spielt die Elektrizität. Sie hat den grossen Vorteil, dass sie sich fast verlustlos nutzen lässt. Sie ist also sehr effizient, hat aber einen grossen Nachteil: Sie muss im gleichen Moment produziert und genutzt werden. Produktion und Verbrauch von Elektrizität sind deshalb anspruchsvoll.

Um elektrische Energie zu speichern, muss sie in eine andere Energieform verwandelt werden: chemische Energie (Batterien, Wasserstoff), potenzielle Energie (Stauseen) oder Bewegungsenergie (Schwungräder). Bei der Umwandlung und bei der Rückwandlung entstehen Verluste – zum Teil erhebliche.

Was ist eine Kilowattstunde?

Es gibt verschiedene Messgrößen für Energie. Allgemein bekannt ist die Kalorie für die Messung von Wärmeenergie. In der Energietechnik ist die Kilowattstunde (kWh) gebräuchlich. Was ist eine kWh? Was kann man damit machen?

- Mit 1 kWh kann man 2½ Stunden Staubsaugen
- Mit 1 kWh fährt ein Elektroauto durchschnittlich ca. 5 km
- Mit 1 kWh kann man 1 Tonne 360 Meter hochheben
- 1 Liter Heizöl enthält 10 kWh Wärmeenergie
- 1 kg Kohle enthält 8 kWh Wärmeenergie, die beim Verbrennen frei wird

Was ist der Unterschied zwischen Kilowatt und Kilowattstunde? Es ist der gleiche Unterschied wie zwischen km/h (Geschwindigkeit) und Kilometer (Distanz).

Was ist ein Kilowatt?

Kilowatt (kW) misst die Leistung, das heisst, wie schnell Energie produziert oder konsumiert wird.

-
- 1 kW entspricht 1,33 Pferdestärken (PS)
-
- Ein eingeschaltetes iPhone benötigt eine Leistung von 0,001 bis 0,002 kW
-
- Der Laptop benötigt im Betrieb je nach Grösse des Bildschirms um die 0,05 kW
-
- 1 m² senkrecht besonntes Solarpanel leistet 0,18 bis 0,22 kW
-
- Ein Sportwagen kann eine maximale Leistung von bis zu 300 kW abgeben
-
- Eine Lokomotive leistet bis 5 000 kW
-
- Das Kernkraftwerk Gösgen leistet 1 000 000 kW oder 1 000 MW (Megawatt)
-

Die installierte Leistung (die maximale Leistung) sagt nichts aus über die momentane Leistung, respektive die produzierten kWh. Ein Sportwagen fährt nicht ständig mit Vollgas. Die Sonne geht jeden Abend unter.

Wirkungsgrad

Kraftwerke und Motoren sind Anlagen zur Energieumwandlung. Ein Kohlekraftwerk verwandelt die chemische Energie von Kohle in Wärmeenergie und diese in der Turbine in Bewegungsenergie und schliesslich im Generator in elektrische Energie.

Ein Automotor verwandelt die chemische Energie von Benzin in den Zylindern in Wärmeenergie und die Kolben verwandeln diese in Bewegungsenergie.

Die Umwandlung ist nie vollständig. Vor allem die Umwandlung von Wärme in Bewegungsenergie ist besonders verlustreich. Der Wirkungsgrad hängt von der Temperaturdifferenz ab, zum Beispiel der Temperatur im Zylinderkopf nach der Zündung und der Temperatur der Auspuffgase.

Typische Wirkungsgrade



Fotosynthese **< 1 %**



Fotovoltaik **15 – 23 %**



Verbrennungsmotor **20 – 25 %**



Kernkraftwerk **33 %**



Kohlekraftwerk **35 %**



Gasturbine **40 %**



Gaskombikraftwerk **50 – 63 %**

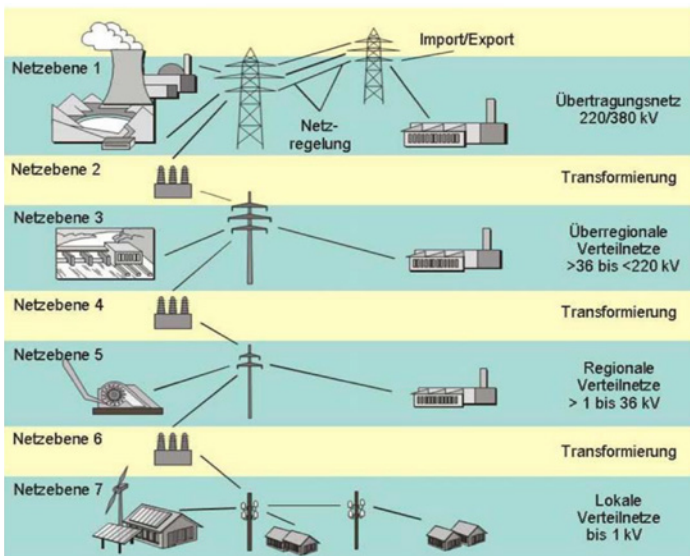
Vom Kraftwerk in die Steckdose

Woher der Strom auch immer kommt – er muss einen Weg vom Kraftwerk zum Konsumenten finden. Dafür braucht es das Stromnetz. Es ist ein kompliziertes System von Leitungen mit vier Spannungsebenen, verbunden durch drei Transformationsebenen:

- **Das Höchstspannungsnetz** ist 6700 km lang und wird mit einer Spannung von 220 und 380 kV betrieben. Hier speisen die grossen Wasser- und Kernkraftwerke ein und von hier beziehen die Pumpspeicher die Energie zum Pumpen.
- **Das überregionale Verteilnetz** hat eine Spannung von 36 bis 220 kV. Kleinere Wasserkraftwerke speisen in dieses Netz ein und grössere Fabriken beziehen ihren Strom aus diesem Netz.
- **Das Mittelspannungsnetz** hat eine Spannung von 1 bis 36 kV. Hier speisen Gasturbinen sowie grössere Windkraftwerke ein.
- **Das Niederspannungsnetz** (240 Volt bis 1 kV) misst insgesamt 250 000 km, davon sind fast 220 000 km verkabelt. Aus diesem Netz beziehen die Haushalte ihren Strom und neu speisen Solar- und Windkraftwerke hier ein.

Der Wechselstrom ist im ganzen Netz exakt synchronisiert und schwingt mit einer Frequenz von genau 50 Hertz. Sie steuert die Leistung. Fällt sie unter 50 Hertz, muss mehr Leistung eingespeist werden. Steigt sie

darüber, muss Leistung weggenommen werden. Wird irgendwo eine Herdplatte eingeschaltet, muss woanders eine Turbine ein bisschen härter arbeiten. Die Stromkonsumenten steuern die Kraftwerke.



Grafik: VSE

Das Stromnetz ist ein äusserst komplexes System. Es funktioniert nur, wenn es exakt im Gleichgewicht ist. Neu gibt es auf den untersten drei Ebenen «Gegenverkehr» wegen der eingespeisten Solarenergie.

Stromdrehscheibe Schweiz

Das europäische Stromnetz reicht von Portugal bis Polen und von Griechenland bis Finnland. Die Schweiz ist mitten drin und an 41 Stellen mit dem europäischen Netz verbunden. Über diese Verbindungen findet ein reger Handel statt. Deutschland verkauft Strom nach Italien und Frankreich nach Österreich – manchmal auch umgekehrt.

Per Saldo über das ganze Jahr exportiert die Schweiz mehr Strom als sie importiert – noch. Im Winter ist die Situation seit 20 Jahren anders: Da ist die Schweiz zunehmend **auf Importe angewiesen**. Hauptsächlich kommt Kohlestrom aus Deutschland und Atomstrom aus Frankreich.

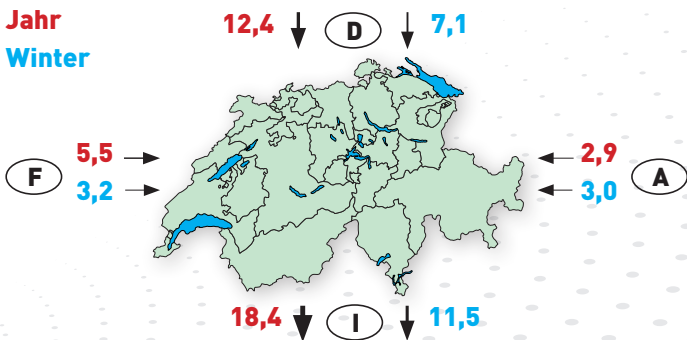
Unser wichtigster Winterstromlieferant, Deutschland, hat vorgesehen bis Ende 2022 alle Kernkraftwerke und einige Kohlekraftwerke vom Netz zu nehmen. **Damit würden 15 Gigawatt (GW) Leistung fehlen**, also 15 Mal so viel wie das Schweizer Kernkraftwerk Gösgen leistet. So entstehen in Deutschland Stromengpässe, besonders bei **Dunkelflauten**, d.h. wenn der Wind nicht weht und die Sonne nicht

scheint. **Dies bedeutet, dass die Schweiz keinen Strom mehr aus Deutschland erhält. So gerät unser Land in eine Strommangellage.** Bereits ab 2025 müssen wir mit einer solchen Strommangellage rechnen. **Die Schweiz ist darauf nicht vorbereitet, sagt die ElCom.**

Einfuhr-/Ausfuhrsaldo

Einfuhrsaldo 2021 = 2,4 TWh

Einfuhrsaldo Winter 2020/2021 = 1,8 TWh



Die Stromimporte und -exporte der Schweiz. Im Winter ist die Schweiz auf Importstrom aus Deutschland und Frankreich angewiesen, obschon diese Länder immer weniger produzieren.

Klimapolitik ist Energiepolitik

Wir müssen den CO₂-Ausstoss senken. Der Bundesrat will, dass die Schweiz schon 2050 bei Netto-Null ist. Das heisst: **Wir dürfen kein CO₂ mehr austossen.**

Woher kommt dieses CO₂? Es entsteht bei jeder Art von Verbrennung. Doch wenn man **fossile** Stoffe verbrennt (Kohle, Erdöl, Erdgas), entsteht **zusätzliches** CO₂. Damit nimmt die Menge CO₂ in der Atmosphäre zu.

Die Lösung scheint einfach: Aufhören, fossile Stoffe zu verbrennen! Aber so einfach ist es nicht: Wir verbrennen Öl und Gas nicht zum Vergnügen. Wir gewinnen dabei Energie und ohne Energie geht nichts. Wir müssen also die fossilen durch eine andere Energiequelle ersetzen. Das geht nur mit Strom. Doch woher soll er kommen?

Es hilft, wenn man weiss, wie viel CO₂ bei der Stromerzeugung bei den verschiedenen Stromproduktionsarten entsteht. Das Paul Scherrer Institut (PSI) hat das in der Studie «Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen» genau errechnet.* Dabei wurde nicht nur der Betrieb des Kraftwerks, sondern auch sein Bau, die Gewinnung der Rohstoffe und die Entsorgung berücksichtigt.

CO₂-Emissionen

bei der Stromproduktion in Gramm pro kWh*

Flusskraftwerk	5 – 10
Speicherkraftwerk	5 – 15
Kernkraftwerk	10 – 20
Windturbine	8 – 27
Fotovoltaik, multikristallin	39 – 69
Fotovoltaik, monokristallin	62 – 109
Fotovoltaik, Dünnschicht	25 – 43
Biogas	150 – 450
Gaskombikraftwerk (GuD)	387 – 400
Kohlekraftwerk	823 – 1022

Das heisst, unsere Stromversorgung mit Wasserkraft und Kernenergie ist bereits ideal. Wenn wir, wie die «Energiewende» das vorsieht, die Kernenergie durch Fotovoltaik ersetzen, erhöhen wir den CO₂-Ausstoss.

** Christian Bauer und Stefan Hirschberg (PSI): «Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen» (2017)*

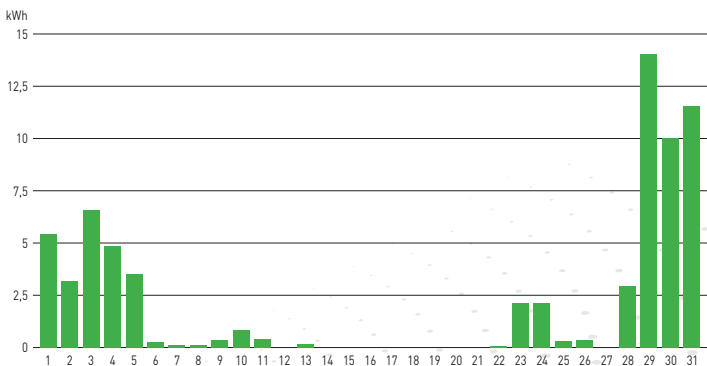
Die Politik setzt sich unvereinbare Ziele

Die Energiepolitik des Bundes verfolgt zwei Ziele: Sie will gemäss Energiegesetz von 2017 erstens die Kernenergie sukzessive durch Strom aus Sonne, Wind und Bioenergie ersetzen und ausserdem den Stromverbrauch bis 2035 pro Kopf um 13 Prozent senken.

Sie will zweitens bis 2050 ohne fossile Brennstoffe (Kohle, Erdöl und Erdgas) auskommen, wie der Bundesrat 2019 beschlossen hat. **Das ist das Problem.** Die beiden Ziele **widersprechen sich.** Man kann fossile Energiequellen nicht einfach wegsparen – man muss sie **ersetzen.** Das geht nur durch **Elektrifizierung.** Dazu benötigt man mehr Strom, als heute produziert wird – viel mehr.

Strom aus Kernkraftwerken unterscheidet sich grundsätzlich von Solar- und Windstrom: Strom aus Kernkraftwerken **steht ständig zur Verfügung**, liefert Bandenergie.

Solar- und Windstrom sind unplanbar und unbeeinflussbar. Wenn Schnee auf Solarpanelen liegt, liefern sie tagelang gar nichts. Man spricht daher von **Flutterstrom**. Flutterstrom kann die Grundversorgung nicht sicherstellen.



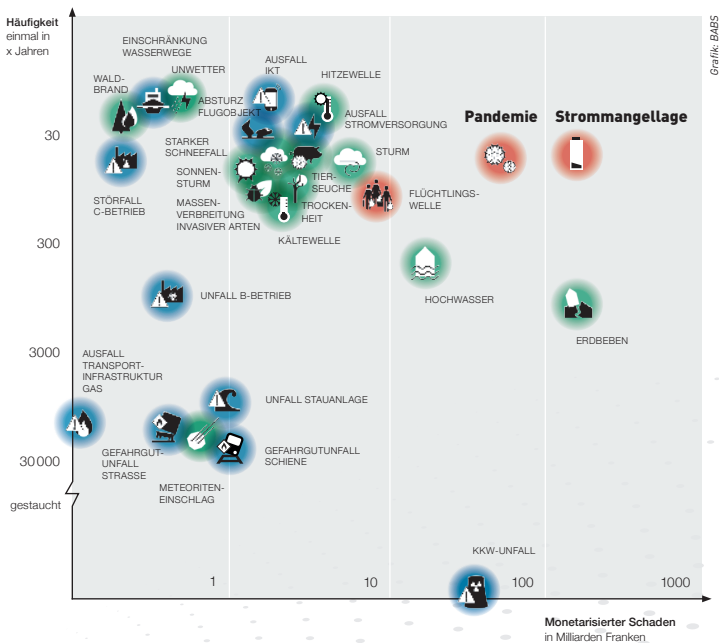
*Produktion einer Solaranlage im Raum Winterthur im Januar 2021.
Tagelang wird kein Strom produziert.*

Eine Strommangellage ist schlimmer als eine Pandemie

Die Versorgung der Schweiz mit elektrischer Energie muss zu jeder Zeit sichergestellt sein. Dies ist eine anspruchsvolle Aufgabe, weil es nicht möglich ist, Strom zu lagern.

Wenn es nicht gelingt, diese Forderung zu erfüllen, spricht man von einer **Strommangellage**. Das wäre eine Katastrophe.

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS) betrachtet eine Strommangellage als **grösste Bedrohung** für die Schweiz – grösser als eine Pandemie!



Die grössten Bedrohungen der Schweiz gemäss Bundesamt für Bevölkerungsschutz. Eine Strommangellage ist das Schlimmste und Teuerste, was passieren kann.

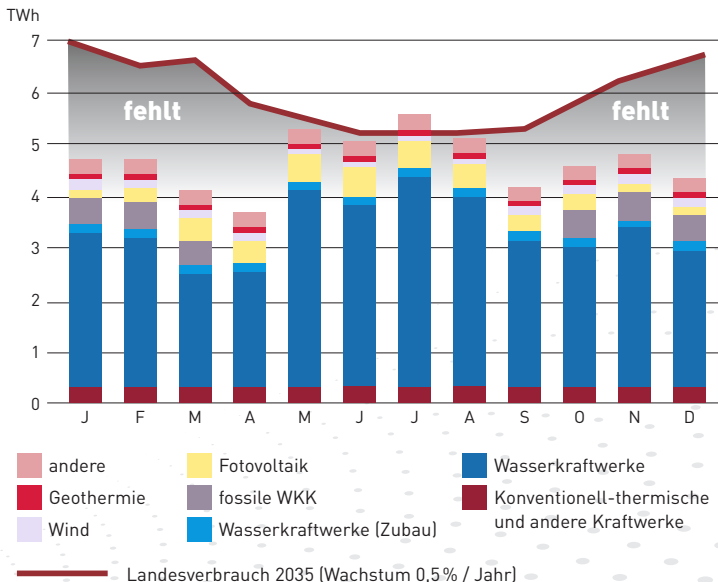
Fünf mal Null ist immer noch Null!

Ende 2019 ging das Kernkraftwerk Mühleberg vom Netz. Es hatte zuverlässig Jahr für Jahr rund 3000 Gigawattstunden (GWh) produziert. Verglichen mit der Gesamtproduktion der Schweiz von durchschnittlich 66 000 GWh ist das nicht viel, aber dieser Strom fehlt. Mit weiteren Abschaltungen wird die Lücke grösser. Sie muss kompensiert werden. Die neuen Erneuerbaren können das nicht. Sie produzierten 2019 bloss 2250 GWh. Auch ein fünffacher Ausbau bringt nichts, denn im Winter, wenn der Bedarf am grössten ist, produzieren sie wenig oder gar nichts. Das gilt auch für alpine Solaranlagen.

Die Energiestrategie 2050 hat zwei gravierende Fehler: Sie ist eine Importstrategie und enthält zwei Technologieverbote (Verbot neuer Kernkraftwerke und Verbot Wiederaufarbeitung abgebrannter Brennelemente). Doch in Zukunft werden wir nicht mehr importieren können.

Die **Winterlücke** wächst von Jahr zu Jahr und wird bis 2045 immer grösser.

Stromproduktion und Verbrauch Schweiz 2035 ohne Kernkraftwerke und mit Zubau gemäss Energiesstrategie 2050



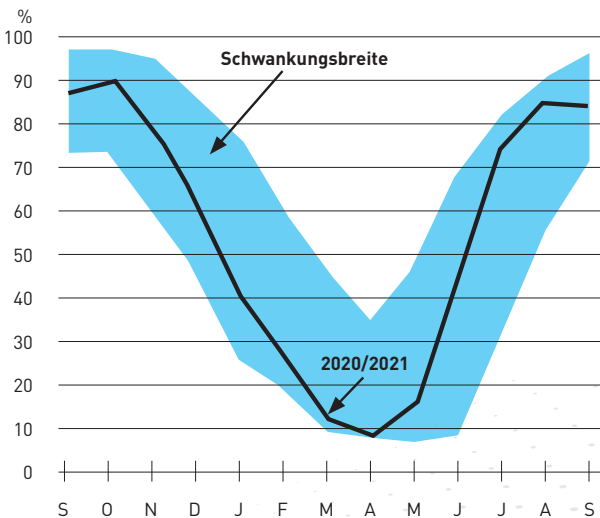
Die Differenz zwischen Stromproduktion und Strombedarf wird im Winterhalbjahr immer grösser. Die Versorgung ist stark gefährdet.

Wenn Strommangel droht, baut man Kraftwerke

In der Schweiz muss der Bau von Kraftwerken unverzüglich an die Hand genommen werden. Die Notlösung, die der Bundesrat mit einem **«Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbarer Energie»** dem Parlament vorlegt, genügt nicht. Mit dem unscheinbaren Zusatz «mit erneuerbaren Energien» werden die Lösungsmöglichkeiten eingeschränkt, denn Sonne und Wind können die Winterlücke nicht schliessen. Darum hat sich der Bundesrat zwei Vorschläge ausgedacht:

Erstens eine **Winterzulage**: Jeder Investor, der eine winter-taugliche Stromproduktions-Kapazität aufbaut, erhält eine Sonderzulage zusätzlich zu den üblichen Subventionen.

Zweitens eine **strategische Reserve**: Die Betreiber von Speicherkraftwerken werden verpflichtet, im frühen Winter – wenn noch Strom importiert werden kann – die Wasservorräte in den Stauseen zu belassen, damit im kritischen Vorfrühling noch genug Wasser zur Stromproduktion vorhanden ist.



Der Füllungsgrad der Stauseen schwankt im Jahresverlauf stark.

Wasserkraft ist heute der tragende Pfeiler der Stromversorgung. Der Ausbau ist umstritten, obwohl Stau-mauererhöhungen (Grimsel etc.) und neue periglaziale Kraftwerke (Trift-, Gornergletscher etc.) viel Winterstrom produzieren könnten (2 TWh = 2 Mrd. kWh 2 000 000 000).

Es eilt!

Wir brauchen sofort eine Stromquelle, um die drohende **Winterlücke** zu schliessen, wenn wir nicht importieren können. Diese Quelle muss in der Lage sein, in den drei Wintermonaten bis zu 7000 GWh zu liefern. Es braucht deshalb den Bau von Gaskraftwerken. Die sukzessive wegfallenden Importe können realistisch nur mit Gaskraftwerken ersetzt werden. Alles andere dauert zu lange – wahrscheinlich haben wir auch für den Bau eines Gaskraftwerks zu wenig Zeit.

Zwar produzieren Windkraftwerke im Winter auch Strom. Die fehlenden 7000 GWh = 7 000 000 000 kWh kann der Wind nicht liefern und oft fehlt er ganz.



Gaskraftwerke machen neue Probleme. Deren Strom ist teuer, der Gaspreis schwankt und sie produzieren CO₂ – laufen also dem Netto-Null-Ziel zuwider. Es wird noch teurer, wenn ein Gaskraftwerk als «Notstromanlage», nur ein bis zwei Monate im Jahr, in Betrieb ist.

Die Schweiz besitzt keine Gasspeicher. Zudem liegen die Gasvorräte, die wir gemäss Landesversorgungsgesetz haben sollten, in Form von Heizöl vor!

Deshalb will der Bund nun mit Notrecht 8 mobile Ölturbinen als Reservekraftwerk für 4 Jahre mieten und bei GE Gas Power in Birr (AG) aufstellen. Solche CO₂-Schleudern vertragen sich schlecht mit den Klimazielen des Bundesrates und der Schweizer Umwelt- und Lärmschutz-Gesetzgebung. Eine Ölturbine ist eigentlich ein Flugzeugtriebwerk mit massiven Lärmemissionen, Abgasen und Russ.

Die Anlage hat eine Leistung von 250 Megawatt. Das 2019 abgestellte Kernkraftwerk Mühleberg leistete 373 Megawatt und produzierte praktisch CO₂-freien Strom.

Das Verbot von neuen Kernkraftwerken verhindert langfristig Lösungen!

Das grössere Problem, für dessen Lösung wir allerdings mehr Zeit haben, ist eine Stromquelle zu finden, welche die fossilen Energiequellen und die auslaufenden Kernkraftwerke ersetzen kann. Eine grobe Abschätzung ergibt, dass dafür **72 000 000 000 kWh benötigt werden**, unter der Voraussetzung, dass der Energiebedarf nicht steigt. Das ist also eine sehr optimistische Annahme.

Der Bundesrat zählt auf die **Erneuerbaren**, also Wasserkraft, Fotovoltaik, Windkraft, Biomasse und tiefe Geothermie. In Tat und Wahrheit heisst das **Fotovoltaik**. Alle anderen können wenig oder nichts beitragen.

Für die jährliche Produktion von 72 Mrd. kWh = 72 000 000 000 kWh Solarstrom benötigt man **480 km² Fotozellen**. So gross ist der Kanton Obwalden. Kosten dürfte das rund 100 Milliarden Franken. Allerdings fällt diese Energie vor allem im Sommer an.

Saisonale Speicherung

Rund 12 000 000 000 kWh müssen in den Winter «verschoben» werden. Dazu fehlen saisonale Speicher. Sogar mit Pumpspeicherwerken geht es nicht, denn dazu müsste der heute vorhandene Stauraum um 13 Grande Dixence ausgebaut werden.*

Die Umwandlung in Wasserstoff und im Winter wieder zurück in Strom geht auch nicht, denn das bringt enorme Verluste und zur Speicherung des Wasserstoffs bei 200 bar benötigte man Felskavernen mit dem 25-fachen Volumen der Gotthard-Basistunnel.*

Statt einer «Sicheren Stromversorgung mit erneuerbaren Energien» brauchen wir **«Eine sichere Stromversorgung mit klimaschonenden Energien»**.

**Andreas Züttel et al.: «Future Swiss Energy Economy: The Challenge of Storing Renewable Energy»; Frontiers in Energy Research, 1. Feb. 2022.*

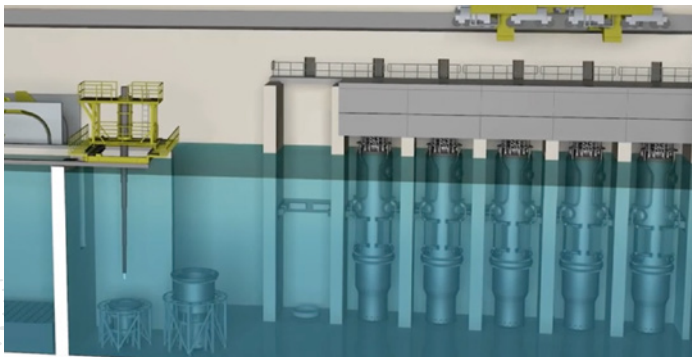
Sicher, umweltfreundlich, nachhaltig!

Somit bleibt als einzige Energiequelle für den Ersatz der fossilen Energie die Kernenergie. Seit das **Klimaproblem** ins allgemeine Bewusstsein gerückt ist, ist die Kernenergie wieder im Gespräch. Die Gegenargumente kamen prompt:

- Die Kernenergie komme zu spät. Natürlich sind wir spät dran! Hätte der Bundesrat die drei **Baugesuche von 2008** ordnungsgemäss behandelt, wären wir jetzt nicht derart in der Bredouille. Ausserdem: Spät dran sein ist ein guter Grund, sofort mit der Planung zu beginnen. Dafür muss das Technologieverbot aufgehoben werden.
- Das Schweizer Stimmvolk hat sich immer wieder für die Nutzung der Kernenergie ausgesprochen (1979, 1984, 1990, 2003 und 2016). **Beim Energiegesetz 2017 war das Verbot von Rahmenbewilligungen im Anhang versteckt und Auswirkungen wurden verschwiegen.** Zudem hatte 2017 der Klimawandel noch keine Priorität. Das hat sich geändert.

Am effektivsten können die neuen Typen von Kernkraftwerken die alten Argumente entkräften: Sie sind **inhärent sicher**, sie bedrohen auch im schlimmsten Fall weder die nähere Umgebung noch die Umwelt und es gibt sie in allen Grössen: von 10 bis 1 600 MW Leistung. Die «Small Modular Reactors» (SMR) werden in Fabriken am **Fließband produziert** und fertig montiert auf die Baustelle gebracht. Im Gegensatz zu Gas kann man Kernbrennstoffvorräte lagern.

Gemäss Nuklearforum Schweiz sind zurzeit in **19 Ländern 55 Kernkraftwerke im Bau.**



Kraftwerk mit fünf kleinen modularen Reaktoren (SMR) vom Typ NuScale.

Das angeblich ungelöste Abfallproblem

Kernkraftwerke wären ja schon recht, wenn nur dieses Abfallproblem nicht wäre – hört man oft. **Dabei ist gerade der Abfall ein gutes Argument für die Kernenergie.**

Die Menge ist nämlich sehr klein.

Der grösste Teil der nuklearen Abfälle sind abgebrannte Brennstäbe. Sie bestehen – wie neue Brennstäbe auch – grösstenteils aus Uran 238, das nicht spaltbare Isotop des Urans. Bis zu fünf Prozent der neuen Brennstäbe bestehen aus dem spaltbaren Uran 235. In einem Kernkraftwerk der Gösigen-Klasse wird in einem Jahr etwas mehr als eine Tonne davon gespalten. Daraus entsteht die gleiche Menge Spaltprodukte, also gut eine Tonne. Spaltprodukte sind ein Gemisch vieler Elemente, die meisten sind radioaktiv. Das ist der eigentliche «Atommüll» – eine Tonne pro Jahr. Ein Teil davon ist nach wenigen Hundert Jahren zerfallen, die anderen strahlen so schwach, dass sie harmlos sind. Dazu entsteht durch Neutronenbeschuss aus Uran 238 Plutoni-

um, etwa 200 Kilogramm. Das gilt in der Schweiz ebenfalls als Abfall, ist aber eigentlich ein Kernbrennstoff.

Wie vergleicht sich diese Abfallmenge mit der eines gleich grossen Kohle- oder Gaskraftwerks?

<i>Kohlekraftwerk</i>	<i>Kohlendioxid</i>	<i>7 500 000 Tonnen</i>
	<i>Asche und Schlacke</i>	<i>350 000 Tonnen (radioaktiv)</i>
	<i>Schwefeldioxid</i>	<i>3 000 Tonnen</i>
	<i>Stickoxide</i>	<i>2 000 Tonnen</i>
<i>Gaskraftwerk</i>	<i>Kohlendioxid</i>	<i>3 200 000 Tonnen</i>
	<i>Stickoxide</i>	<i>1 000 Tonnen</i>
<i>Kernkraftwerk</i>	<i>Spaltprodukte</i>	<i>1 Tonne (radioaktiv)</i>
	<i>mit U-238 und Verpackung</i>	<i>30 Tonnen</i>

Wenn wir die wertvollen Stoffe Plutonium und U-238 nicht zurückgewinnen wollen (Verbot der Wiederaufbereitung), verpacken wir die Brennstäbe wie sie sind in dickwandige Stahlbehälter und vergraben diese in wasserdichem Tongestein, das sich seit über 170 Millionen Jahren nicht bewegt hat. 600 Meter unter der Erdoberfläche. Der «Sachplan Geologische Tiefenlager» des BFE gibt den Weg vor.

Überschaubare Abfallmenge

Im Zwischenlager Würenlingen (Bild rechts) lagert fast der ganze Abfall aus 50 Jahren Kernenergiebetrieb in der Schweiz. Was fehlt sind die abgebrannten Brennelemente, die sich noch in den Abklingbecken der Kernkraftwerke befinden. Total gibt es 47 Stahlbehälter. Früher wurden die abgebrannten Brennelemente in Frankreich und England wieder aufbereitet, gewissermassen rezykliert. So wurden neue Mischoxid-Brennstäbe hergestellt und genutzt. Dies hat die Abfallmenge stark verkleinert. Der Restabfall besteht dann nur noch aus Spaltprodukten, die in verglaster Form vorliegen. Diese Glaskokillen befinden sich in den 23 Behältern an beiden Seiten der Halle. Der Transport der Brennelemente zur Wiederaufbereitung wurde 2006 sistiert und ist seit 2017 (Anhang zum Energiegesetz) verboten.

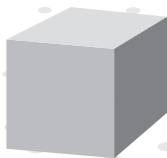
Auch einige der sechs Stahlbehälter mit den radioaktiven Abfällen des rückgebauten Prototyp-KKW Lucens sind hinten zu sehen.



Das gesamte Volumen der Stahlbehälter beträgt 1260 m^3 .
Das ist ein Würfel mit einer Kantenlänge von knapp 11 m.
www.zwilag.ch

Wie wenig Abfall Kernenergie produziert, kann man mit der folgenden Rechnung zeigen:

Wenn eine 4-köpfige Familie ihren ganzen Strombedarf von 5000 kWh/pro Jahr aus Kernkraftwerken bezieht, entstehen 0,625 Gramm Spaltprodukte. Ohne Wiederaufbereitung sind es 60 Gramm, oder 3 cm^3 , ein Würfel mit einer Kantenlänge von 14,4 mm.



Keine Angst vor Radioaktivität

Nukleare Abfälle sind radioaktiv – keine Frage. Bloss: Ist das gefährlich? Was heisst «radioaktiv»? Ohne uns in den Tiefen der Kernphysik zu verlieren, können wir sagen, es gibt Stoffe, die Strahlen aussenden, die – ähnlich den ultravioletten Sonnenstrahlen – lebendes Gewebe schädigen können. Allerdings schädigen sie nicht nur die Haut, sondern den ganzen Körper. Strahlenkrankheit ist wie Sonnenbrand im ganzen Körper.

Wer sich häufig der Sonne aussetzt und immer wieder einen Sonnenbrand einfängt, der hat im Alter eine höhere Wahrscheinlichkeit, an Hautkrebs zu erkranken. So ist es auch mit Strahlenkrankheit: Je mehr Strahlung man sich aussetzt, desto höher die Wahrscheinlichkeit, später an Krebs zu erkranken.

Das macht Angst. Umso mehr, als man Radioaktivität nicht sehen, hören oder riechen kann. Allerdings kann man sie sehr gut messen. Wenn man messen will, braucht man eine Masseinheit. Die Masseinheit für die Strahlendosis ist

das Sievert (Sv). Eine Dosis von 1 Sv auf einmal macht die meisten Menschen krank. Die im Alltag gebräuchliche Einheit ist ein Tausendstel davon: Millisievert (mSv). Kleine Strahlendosen sind ungefährlich. Aus den Langzeitstudien der Opfer von Hiroshima und Nagasaki ist bekannt, dass nie jemand an einer Dosis von 100 mSv oder weniger zu Schaden gekommen ist.

Fukushima hätte nicht evakuiert werden müssen. Die Lebensdosis ist in den Alpen vielerorts wegen der Strahlung aus Granit höher als dort. Niemand denkt deswegen daran, Zermatt zu evakuieren. Niemand ist beim Unfall im havarierten Kraftwerk oder seiner Umgebung durch Strahlen geschädigt worden. Das sagt die UNO-Kommission UNSCEAR.



Die Strahlung eines uranhaltigen Steins ist leicht zu messen.

Ampere. Masseinheit für (elektrischen) →Strom. 1 Ampere bedeutet, dass in einer Sekunde $6,24 \cdot 10^{18}$ Elektronen vorbeifliessen.

Anthropogen. Menschengemacht.

Anthropogener Klimawandel. → Klimawandel, der durch den Anstieg des →CO₂-Gehalts der Luft verursacht wird. Er heisst «→Anthropogen», weil das zusätzliche CO₂ aus der →Verbrennung von →fossilen Stoffen stammt.

Arbeit. Das Gleiche wie →Energie. Physikalisch definiert als Kraft mal Weg. Wird in →Kilowattstunden (→kWh) gemessen. Gewicht-heben ist Arbeit. Luftwiderstand überwinden ist Arbeit.

Bandenergie. Energiemenge, die rund um die Uhr produziert wird und den Grundbedarf an Strom abdeckt. Laufkraft- und Kernkraftwerke produzieren Bandenergie.

CO₂. Chemische Formel für Kohlendioxid. Ein Gas, das bei der →Verbrennung oder Verrottung organischer Stoffe wie Holz und bei der →Verbrennung →fossiler Stoffe entsteht.

Elektrische Energie. → Energie, die durch elektrischen → Strom übertragen wird. Die geleistete Energie hängt von der → Stromstärke und der → Spannung ab. → Leistung (→ Watt) = → Spannung (→ Volt) mal → Strom (→ Ampere). Elektrische Energie lässt sich nicht → speichern, sie muss genau dann erzeugt werden, wenn sie genutzt wird. Umgangssprachlich oft als → Strom bezeichnet.

Energie. Die Fähigkeit, → Arbeit zu leisten. Wird wie diese in → Kilowattstunden (→ kWh) gemessen. Energie kann verschiedene Formen annehmen, aber man kann sie weder herstellen noch vernichten, nur von einer Form in eine andere umwandeln. Am Ende liegt sie immer als Wärme vor.

Energiedichte. Die Menge → Energie, die in einem Volumen oder einer Masse enthalten ist oder durch eine Fläche strömt. → Solar-energie ist wenig dicht, Öl ist dichter und Uran ist nochmal eine Million Mal dichter.

Energieumwandlung. Ein Vorgang, bei dem Energie in eine andere Form verwandelt wird. → Verbrennung verwandelt chemische Energie in → Wärme. Ein → Generator verwandelt Bewegungsenergie in → elektrische Energie.

Erdgas. → Fossiler Brennstoff, der vor über 100 Millionen Jahren unter Luftabschluss aus Kadavern entstanden ist. Besteht fast ausschliesslich aus Methan (CH_4). Bei der Verbrennung entsteht deshalb → CO_2 und Wasser.

Erdöl. → Fossiler Brennstoff, der vor über 100 Millionen Jahren unter Luftabschluss aus Kadavern entstanden ist. Besteht aus einer Mischung von Paraffinen ($\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$). Bei der Verbrennung entsteht deshalb → CO_2 und Wasser.

Erneuerbare Energie. Eine Energiequelle, die niemals versiegt. Sie kann aber zeitweise ausfallen.

Fossile Brennstoffe. → Kohle, → Erdöl, → Erdgas. Sie sind die → Sonnenenergie der Dinosaurier und haben die industrielle Revolution ermöglicht.

Fotovoltaik. Die Gewinnung von → elektrischer Energie aus Sonnenlicht mittels Fotozellen. Sie kann mangels → rotierender Masse das → Stromnetz nicht stabilisieren und ist nicht steuerbar.

Frequenz. Anzahl Schwingungen pro Sekunde. Masseinheit ist das → Hertz (Hz).

Generator. Eine Maschine, die Bewegungsenergie (Rotation) in elektrische Energie umwandeln kann.

Giga. Vorsilbe für 1 Milliarde ($10^9 = 1$ mit 9 Nullen: 1 000 000 000)

Gleichstrom. → Elektrischer Strom, der immer in der gleichen Richtung läuft, vom «Pluspol» zum «Minuspol». Die Spannung in einem Gleichstromkreis kann man nicht mit einem → Transformator verändern, dazu muss er zuerst in → Wechselstrom verwandelt werden.

Hertz. Masseinheit für die → Frequenz. Anderes Wort für «pro Sekunde». Der → Wechselstrom im → Stromnetz muss immer mit exakt 50 Hertz schwingen.

Joule. Masseinheit für → Energie. Das Gleiche wie ein Newtonmeter (Nm) oder eine Wattsekunde (Ws). 3,6 Megajoule = 1 kWh

Kalorie. Veraltete Masseinheit für → Energie. 1 kcal = 0,00116 kWh.

Kilo. Vorsilbe für Tausend ($10^3 = 1$ mit 3 Nullen: 1 000)

Kilowatt. Masseinheit für → Leistung. Entspricht 1,33 → PS.

Kilowattstunde. Masseinheit für → Arbeit und → Energie. Es braucht eine Kilowattstunde (→ kWh), um eine Tonne 360 Meter hochzuheben.

Klima. Der langfristige Charakter der verschiedenen Wetterphänomene (Temperatur, Niederschläge, Wind) an einem bestimmten Ort.

Klimawandel. Allmähliche Veränderung eines oder mehrerer Wetter-Parameter.

Kohle. Fossiler Brennstoff, der vor über 100 Millionen Jahren unter Luftabschluss aus Bäumen entstanden ist. Bei der Verbrennung entsteht $\rightarrow \text{CO}_2$.

kW. Abkürzung für $\rightarrow$ Kilowatt, Masseinheit für $\rightarrow$ Leistung.

kWh. Abkürzung für $\rightarrow$ Kilowattstunde. Masseinheit für $\rightarrow$ Energie.

Leistung. $\rightarrow$ Arbeit oder $\rightarrow$ Energie pro Zeit. Wird in $\rightarrow$ Kilowatt ($\rightarrow$ kW) gemessen.

Mega. Vorsilbe für Million ($10^6 = 1$ mit 6 Nullen: 1 000 000)

PS. Veraltete Masseinheit für $\rightarrow$ Leistung. Entspricht 0,75 kW.

Rotierende Masse. Rotierende Bauteile von Kraftwerken wie $\rightarrow$ Turbinen und $\rightarrow$ Generatoren. Ihre Trägheit dient zur sekunden-schnellen Stabilisierung der $\rightarrow$ Frequenz im $\rightarrow$ Stromnetz.

Spannung. Die Kraft, die auf eine elektrische Ladung ausgeübt wird. Sie wird in → Volt (V) gemessen.

Speichern. Für späteren Gebrauch aufbewahren. Ist im Fall von → Strom nicht möglich. Elektrische Energie muss zuerst in eine andere Form von Energie umgewandelt und bei Gebrauch zurückverwandelt werden. Dabei entstehen Verluste. Beispiele für speicherbare Energie sind chemische Energie in Batterien oder Brennstoffen, potenzielle Energie in → Stauseen.

Stausee. Ein durch einen Staudamm angelegter künstlicher See. Wichtiger Teil eines → Wasserkraftwerks. Durch einen Druckstollen kann das Wasser auf eine tiefer gelegene → Turbine geleitet werden, die einen → Generator zur Stromproduktion antreibt.

Strom. Elektrischer Strom besteht aus bewegten Elektronen. Er wird in → Ampere (A) gemessen. Fälschlicherweise umgangssprachlich Synonym für → elektrische Energie.

Stromnetz. Das System zur Übertragung und Verteilung von → elektrischer Energie. Es besteht aus vier Spannungsebenen, verbunden durch drei Transformationsebenen.

Tera. Vorsilbe für 1 Billion (10^{12} = 1 mit 12 Nullen:
1 000 000 000 000)

Transformator. Einrichtung zur Veränderung der → Spannung. Zur Fernübertragung benötigt man hohe → Spannungen und kleine → Ströme, zur Feinverteilung kleine Spannungen. Nur → Wechselstrom kann in einem Transformator transformiert werden.

Turbine. Ein Gerät, das geradlinige Bewegung von Flüssigkeiten oder Gasen in Drehbewegung verwandeln kann. Wird oft verwendet, um einen → Generator anzutreiben. Turbinen sind zwingende Bestandteile von → Wasserkraftwerken, → Windkraftwerken und von thermischen Kraftwerken.

Verbrennung. Ein → Energieumwandlungsprozess, bei dem chemische Energie in → Wärme umgewandelt wird.

Volt. Masseinheit für die elektrische → Spannung. 1 Volt ist die → Spannung, die nötig ist, damit ein → Strom von 1 → Ampere genau 1 → Watt leistet.

Watt. Masseinheit für → Leistung (W). Meist wird das Tausendfache, → kW verwendet.

Wärme. Eine Form von → Energie. Wird ebenfalls in kWh gemessen. Wahlweise auch in → Kalorie (cal). 1 kWh = 860 kcal.

Wasserkraftwerk. Anlage, welche die potenzielle → Energie von Wasser in → elektrische Energie umwandelt.

Wechselstrom. Elektrischer → Strom, der regelmässig die Richtung wechselt. In Europa tut er das 100 Mal pro Sekunde. Ein voller Zyklus dauert demnach $1/50$ Sekunde und die → Frequenz beträgt 50 → Hertz (Hz). Sie muss genau eingehalten werden, damit das → Stromnetz stabil bleibt. → Rotierende Masse im Netz sorgt dafür.

Widerstand. Was der → Strom in der Leitung mithilfe der → Spannung überwinden muss. Wird in Ohm (Ω) gemessen. Der Strom ist umso grösser, je grösser die Spannung und je kleiner der Widerstand ist. Strom = Spannung/Widerstand. Der Strom nimmt in einem → Stromnetz immer den Weg des kleinsten Widerstandes.

Windkraftwerk. Anlage, welche die kinetische → Energie bewegter Luft in → elektrische Energie umwandelt. Die → Leistung hängt von der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit ab. Das heisst, bei halber Windgeschwindigkeit fällt die → Leistung auf einen Achtel.

Wirkungsgrad. Gibt an, wie viel → Energie (in %) nach einer → Energieumwandlung noch vorhanden ist. Die Umwandlung in → Wärme hat immer einen Wirkungsgrad von 100%. Alle anderen Umwandlungen sind mit Verlusten verbunden.

www.energieclub.ch

