

**Zeitschrift:** Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria  
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband  
**Band:** 104 (2012)  
**Heft:** 2

**Artikel:** Strom im Überfluss? : Die Synergie von Alpenstrom, Windkraft und Solarenergie im Wechselspiel mit unseren Alpen  
**Autor:** Speich, Andreas / Göldi, Christian  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-941876>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 02.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Strom im Überfluss?

## Die Synergie von Alpenstrom, Windkraft und Solarenergie im Wechselspiel mit unseren Alpenrandseen

Andreas Speich, Christian Göldi

### Zusammenfassung

Mit den vielen neuen Windgeneratoren und den weiteren alternativen Energieerzeugungsanlagen wird es in Europa während den späten Nachtstunden Strom im Überfluss geben. Wenn dieser ausreichend gespeichert werden kann, ist der Ausstieg aus der Nuklearenergie und aus den CO<sub>2</sub> emittierenden Energiequellen möglich. Neue Pumpspeicher-Kraftwerke in den Alpen können die Strombatterien Europas werden. Damit verhelfen sie der Primärenergie aus Wind, Sonne und Erdwärme zu einer viel höheren Wirtschaftlichkeit, Energieeffizienz und schliesslich zum Durchbruch. Die Schweiz hat dazu beste Voraussetzungen.

Am Ufer des Lago Maggiore, wenig südlich vom Tessin, befindet sich das italienische Pumpspeicher-Wasserkraftwerk Ronco Valgrande mit 1040 Megawatt (MW) Leistung. Es wurde 1911 erbaut und 1973 erweitert. Seine Maschinen erzeugen kurzfristig so viel Strom wie ein Atomkraftwerk. Die Anlage von Ronco Valgrande ist durchschnittlich sieben Stunden am Tag im Betrieb. Während gut zweieinhalb Stunden, meistens abends, produzieren ihre Turbinen Elektrizität. Die dafür benötigte Wassermenge beträgt im Normalfall etwa 15% des fast 10 Millionen Kubikmeter Wasser fassenden Stausees Delio. Es bleibt immer noch eine grosse Reserve. Etwa ab Mitternacht wird während knapp viereinhalb Stunden Wasser aus dem Lago Maggiore (in Italien: Lago Verbano) in das 736 Meter höhere Staubecken gepumpt. Der Pegel des Langensees sinkt dann um ein paar Millimeter. So viel steigt er wieder an, wenn am Abend die Turbinen laufen. Das Kraftwerk hat praktisch kein eigenes Wassereinzugsgebiet. Es ist ein reines Pumpspeicherwerk, das nicht Gebirgs-

flüsse und Wildbäche aus den Alpen nutzt, sondern Wasser aus dem natürlichen See ansaugt. Ronco Valgrande erwirbt in den frühen Morgenstunden aus fernen Kraftwerken billige Bandenergie (Strom) für den Pumpbetrieb, zunehmend auch von Windgeneratoren, teilweise auch Strom aus der Schweiz. Später am Tag liefert es während kurzer Zeit viel Elektrizität und zwar genau dann, wenn der Strom knapp und teuer ist.

Der im Tages- und Wochenverlauf schwankende Strombedarf Europas hat sein Abbild in den wechselnden Angeboten an der Börse EEX (European Energy Exchange AG, entsprechend dem Index Phelix, Physical Electricity Index) deutscher und österreichischer Kraftwerke. Im Jahr 2011 pendelten die Strompreise pro Kilowattstunde (kWh) im Durchschnitt zwischen 4.3 Rappen um vier Uhr morgens, 7.6 Rappen mittags und 8.1 Rappen um sieben Uhr abends, jedoch mit grossen täglichen und stündlichen Abweichungen, generell sonntags tief, in der Mitte der Woche hoch. Extreme Preise wurden an folgenden Tagen verzeichnet:

- *Sonntag, 3. Januar um 07.00 Uhr: 0.9 Rappen/kWh*
- *Sonntag, 19. Juni um 17.00 Uhr: 0.07 (minus !) Rappen/kWh*
- *Mittwoch, 30. November um 17.00 Uhr: 12.9 Rappen/kWh*
- *Montag, 5. Dezember um 04.00 Uhr: 2.3 Rappen/kWh*

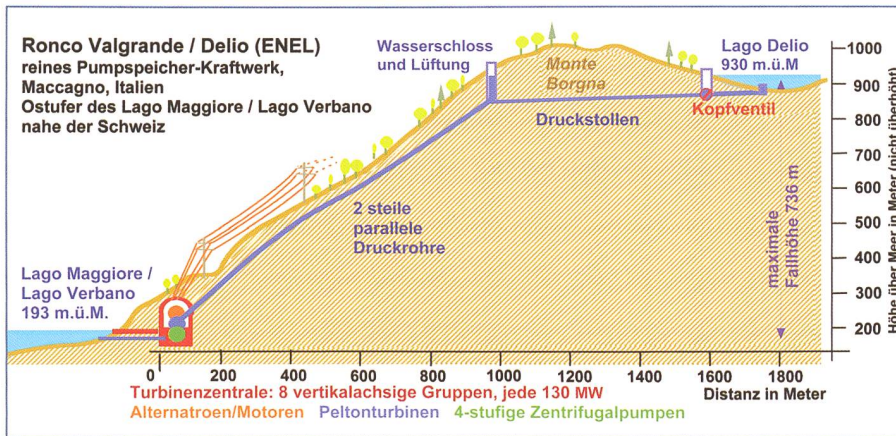
Mit der zunehmenden Anzahl von Windkraftwerken wird die Preisspanne grösser und in kürzeren Intervallen variieren, denn wie stark und wann der Wind bläst, ist nicht planbar. In den Küstenregionen der Nord- und Ostsee, am Schwarzen- und im Mittelmeer sowie im Golf von Biskaya haben Windfarmen Platz, die einen grossen Beitrag zur Stromversorgung Eu-

ropas liefern können. Die Solarenergie ist nur während der Sonnenstunden nutzbar, passt daher gut zu den Bedarfsspitzen am Mittag. In den frühen Abendstunden, an denen kaum Solarenergie zur Verfügung steht, braucht es zur Bandenergie zusätzlichen Strom aus rasch reagierenden Speicherkraftwerken. Die alpinen Wasserspeicher mit ihren Hochdruckanlagen sind ausgezeichnet in der Lage, Strom flexibel und bedarfsgerecht zu liefern.

Würde das Konzept von Ronco Valgrande auf die grossen alpinen Stauseen in Wechselwirkung mit natürlichen Alpenrandseen angewandt, ergäben sich interessante Möglichkeiten, im europäischen Stromsystem zur risikoarmen Energieversorgung beitragen zu können. Die Schweiz könnte so eine sehr grosse Strommenge aus dem In- und Ausland mittels Pumpspeicher-Werken veredeln. Limitierend, aus ökologischer und landschaftlicher Sicht, sind die täglichen Pegel-Schwankungen der genutzten natürlichen Alpenrandseen: sie sollten zum Beispiel am Lago Maggiore, am Lac Léman und am Brienzer- und Thunersee  $\pm 20$  cm nicht überschreiten. Mit der Lieferung von Spitzenstrom aus diesen Anlagen könnte dann der in kurzen Zeitabschnitten stark erhöhte Strombedarf von Bevölkerung, Industrie und Bahnverkehr weit über unsere Landesgrenzen hinaus abgedeckt werden. Im Verbund mit den geplanten und bereits im Bau befindlichen, tausenden Windturbinen an den europäischen Küsten sind solche Pumpspeicher-Kraftwerke unabdingbar. Die geplanten, viele hundert Quadratkilometer grossen Solaranlagen in sonnigen Gegenden könnten dank der alpinen Wasserwerke sinnvoll in das europäische Versorgungskonzept integriert werden.

In der Schweiz strömt aus den Bergen viel Wasser, das Flusskraftwerke antreibt und im Sommer Stauseen füllt, die im Winter den grossen Strombedarf decken. Ausgleichende Produktionszyklen





**Bild 1. Querprofil-Schema des Pumpspeicher-Kraftwerks Ronco Val Grande – Lago Delio, Italien (Grafik Speich).**



**Bild 2. Ausschnitt aus der Landeskarte der Schweiz 1: 50 000, Nr. 286. Reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA120156) vom 16.4.2012.**

sind bei den alpinen Wasserkraftwerken schon seit langem üblich, im Wesentlichen zur Vorratshaltung für den Winter. Wenn es gelingt, im Hinblick auf den Atomausstieg die Pumpspeicherwerke

mit umweltfreundlichem Strom zu betreiben, wird sich der aktuelle Widerstand der Umweltorganisationen gegen diese Konzepte der Energieveredelung verringern. Die heute schon bestehenden, relativ klei-

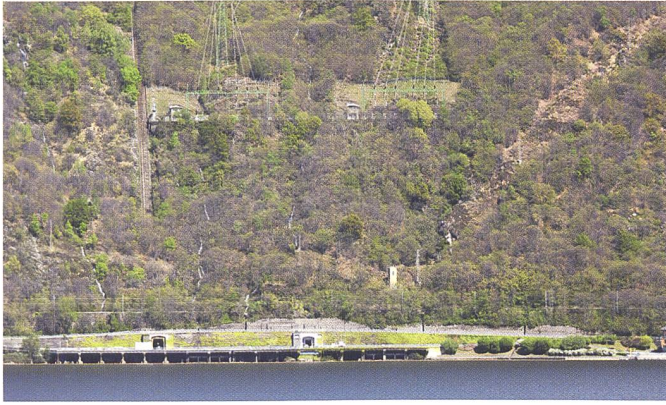
nen Pumpspeicheranlagen befördern das Wasser meistens während den Nachtstunden in die hoch gelegenen Stauseen dank überschüssigem Strom von Fluss-, Atom-, Kohle- sowie Gaskraftwerken. Um in Zukunft alle Pumpspeicherwerke ohne den Strom von Nuklear- und Verbrennungstechnologien betreiben zu können, sind viele neue Windturbinen, Solaranlagen und optimierte Flusskraftwerke nötig. Zudem sollten die noch weit unterschätzten geothermischen Kraftquellen in Betracht gezogen werden.

Pumpspeicherwerke bringen es auf einen Wirkungsgrad von 70%–83%, sind somit effizienter als die thermischen Kraftwerke und verursachen keine Abgase. Freilich «erzeugen» sie selbst keine Energie. Sie verbrauchen für den Pumpbetrieb mehr als sie später ins Stromnetz einspeisen. Aber sie sind in der Lage, dies zeitgerecht und preislich vorteilhaft zu machen. Damit verhelfen sie den neuen umweltfreundlichen Energiequellen zu einer höheren Wirtschaftlichkeit und schliesslich zum Durchbruch. Europa braucht in Zukunft viele solche Wasserkraftwerke. Diese können durch Um- und Ausbau von schon bestehenden Anlagen realisiert werden – ohne Erhöhung der Staumauern.

Auch Gaskraftwerke können rasch und flexibel auf den Strombedarf reagieren und Spitzenstrom liefern. Sie erzeugen jedoch riesige Mengen an CO<sub>2</sub>, sind daher ausgesprochen klimaschädigend, verbrauchen eine endliche Ressource, die besser als Chemie- und Industrierohstoff reserviert bleiben soll, und zudem haben sie einen viel kleineren Wirkungsgrad als jede Form von modernen Wasserkraftwerken.

Das Prinzip des Kraftwerks Ronco Valgrande am Lago Maggiore, hundertfach vermehrt, ermöglicht die Kombination von neuen, umweltfreundlichen primären Energiequellen mit Pumpspeicherwerken. Der naturgegebene Nachteil von Wind- und Sonnenenergie wird auf diese Weise elegant überwunden. Ein Betriebsmodus wie im Werk Ronco Valgrande ist nur mit neuen, sehr grossen Maschinen und entsprechenden Leitungskapazitäten möglich. In der Schweiz gibt es Gebiete, wo das machbar ist. In Verbindung mit dem Genfersee haben die alpinen Kraftwerke im Unterwallis vielleicht das grösste Potenzial. Der billige Nachtstrom und der kurzzeitige Überfluss der neuen internationalen Stromquellen machen eine solche Konfiguration für alle Beteiligten profitabel.

Die aktuellen Pumpspeicher-Projekte wie Limmern-Muttsee, Grimselseen,



**Bild 3. Pumpspeicher-Kraftwerk Ronco Valgrande: Eingänge zur Kavernenzentrale (Foto G. Egger).**



**Bild 4. Lago Delio mit Staumauer Nord (Foto wikimedia).**

Hongrin und Verzasca sind schon in Planung oder bereits im Bau. Das in Wechselwirkung mit grossen Voralpenseen mögliche Potenzial schöpfen sie nur teilweise oder gar nicht aus. Die Schweizer Stauseen in Wechselwirkung mit den natürlichen Alpenrandseen wären dank grossen Pumpspeicher-Kapazitäten eine wirkungsvolle «Batterie» im Verbund mit grossen ausländischen, stochastischen, d.h. unregelmässig und schwankend anfallenden Energiequellen der Sonnen- und Windanlagen. Diese Kombination ist eine neue, zukunftsgerichtete Strategie, welche die karbonthermische und die nukleare Stromerzeugung ökonomisch ersetzen könnte.

Es sind sehr grosse Strommengen im Spiel, die während etwa sechs Stunden pro Tag der Produktion von vielen Atomkraftwerken entsprechen würden. Solche Projekte erfordern hohe Investitionen für grössere Druckleitungen, Turbinen, Generatoren, Pumpen und viel leistungsfähigere Stromleitungen. Das ist nicht nur möglich, sondern auch lohnend: Eine nachhaltige, rentable Investition, denn die Pumpspeicheranlagen haben eine lange Lebensdauer. Die enorme Menge von zeitgerecht produziertem, umweltverträglichem Spitzenstrom wird in Europa zu Spitzenpreisen Abnehmer finden.

Ist es in unserem Lande denkbar, mit grundlegend modernisierten Wasserkraftwerken wirkungsvoll auf die Entwicklung der europäischen Bedarfsspitzen und auf die Angebote von neuer Primärenergie zu reagieren?

Die schweizerische Energiewirtschaft hat ihre Anlagen laufend auf den neuesten Stand der Technik getrimmt und könnte deshalb – dank zusätzlicher Anreize – motiviert sein, veränderte, neue Betriebskonzepte und hohe Investitionen zu tätigen. Dazu gehört auch die mit modernen Maschinen mögliche und teilweise bereits

#### **Daten des Pumpspeicherwerks Ronco Valgrande**

<b>Eigentümer und Betreiber:</b>	Ente Nazionale per l'Energia Elettrica, Italien, ENEL
<b>Baujahr:</b>	1911, erneuert und stark erweitert 1973
<b>Kraftwerkstyp:</b>	reines Pumpspeicher-Kraftwerk mit Nutzung des 212.5 km <sup>2</sup> grossen Lago Maggiore (und mit unbedeutendem natürlichem Einzugsgebiet)
<b>Stausee:</b>	aufgestauter natürlicher Glazialsee Lago Delio in der Gemeinde Maccagno, 929.5 m ü.M., geogr. Länge/Breite 8.755/46.078, Schweizerische Koordinaten 701.800/103.650, Fläche 0.485 km <sup>2</sup> , Stauvolumen 9.75 Mio. m <sup>3</sup> , potenzielle Energie max. 16.7 Mio. kWh, ursprünglicher natürlicher Inhalt 4.5 Mio m <sup>3</sup>
<b>Staudämme:</b>	Nordseite max. 28.5 m hoch, Kronenlänge 416 m, Schwergewichtsdamm 69 000 m <sup>3</sup> Beton, Südseite max. 36 m hoch, Kronenlänge 158 m, Schwergewichtsdamm 26 000 m <sup>3</sup> Beton
<b>Nominalleistung:</b>	Fallhöhe netto 732 m, minimal 720 m, maximal 736 m
<b>Druckstollen:</b>	592.5 m lang, Durchmesser 6.2 m bis zum Wasserschloss
<b>Wasserschlösser:</b>	zwei mit 2260 m <sup>3</sup> und 2870 m <sup>3</sup>
<b>Druckrohre:</b>	zwei parallele Stahlrohre, 1106 und 1108 m lang, mittlere Steilheit 82%, Durchmesser oben 4.3 m, unten 3.6 m,
<b>Zentrale:</b>	Zentrale Ronco Valgrande, Gemeinde Maccagno, Italien, am Ostufer des Lago Maggiore, Seenniveau 193.5 m ü.M., ca. 5 km südlich der Schweizergrenze, an der Staatsstrasse SS 394, Schweizerische Koordinaten 699.950/102.850, geogr. Länge/Breite 8.732/46.070
<b>Turbinenkaverne:</b>	195.5 m lang, 18 m breit, 58.7 m hoch
<b>Maschinen:</b>	acht vertikale Gruppen: 500 Umdrehungen/ Minute, jede Gruppe mit Alternator 140 MVA, Pelton turbine mit je 130 MW, mit je 20 m <sup>3</sup> /sec., vierstufige Zentrifugalpumpen mit je 98 MW, mit je 11.75 m <sup>3</sup> /sec. Pumpleistung, Ansaugniveau 25 m unter Seepegel, Pumpen bei Stromproduktion mechanisch abgekuppelt
<b>Installierte Leistung:</b>	1040 MW
<b>Netzspeisung:</b>	mit 410 kV Ausgangsspannung in 380 kV/50Hz Fernleitungen, eine nach/aus der Schweiz hauptsächlich zum Strombezug für Pumpen, zwei nach/ aus Italien
<b>Steuerung/Bewirtschaftung:</b>	Gestore dei Servizi Energetici – GSE S.p.A.
<b>Jahresproduktion:</b>	ca. 1000 Mio GWh, d.h. im Durchschnitt 2.6 h/ Tag Produktion, 4.2 h/Tag Pumpen (meistens nachts und an Feiertagen)
<b>Pegelschwankung:</b>	Lago Maggiore ca. ± 7 mm
<b>Wirkungsgrad:</b>	78%



**Bild 5. Pumpspeicher-Kraftwerk Ronco Valgrande und Monte Borgna am Ostufer des Lago Maggiore mit den Eingängen zur Kavernenzentrale, der Werkbahn zum Stausee und den Hochspannungsleitungen 380 kV (Foto G. Egger).**

realisierte Leistungssteigerung der vielen alten Flusskraftwerke. Diese lieferten 2010 immerhin 24%, das sind 16 Mrd. kWh, der schweizerischen Stromproduktion; von den Alpen-Stauseen kamen 32% (die Gesamtstromproduktion in der Schweiz inklusive Atomkraftwerke war 66.3 Mrd. kWh). In Kombination mit importierter Wind- und Sonnenenergie können unsere Stauseen ihren Beitrag vervielfachen.

Noch in den Anfängen befindet sich die Technik zur Stromerzeugung aus der tiefen Geothermie Hot Dry Rock Technology (HDR), heute auch Engineered oder Enhanced Geothermal Systems (EGS) genannt, welche hoffentlich in Zukunft einen wachsenden Beitrag leisten wird. Das Pilotprojekt in Soultz-sous-Fôrets im Elsass beweist, dass die Stromgewinnung aus grosser Tiefe möglich ist. Moderne Bohrtechniken versprechen einen Quantensprung für die Erschliessung der tiefen Geothermie, welcher hoffentlich bald ein namhafter Stellenwert beschieden sein wird.

In Zukunft werden wir ohne Nuklearenergie und ohne karbonthermische Kraftwerke leben müssen. Viele Konzepte für Gebäudesanierungen, Solar Kollektoren, die noch unterschätzte Nutzung des heissen Erdinnern (Geothermie),

mehr Energieeffizienz und das individuelle Energiebewusstsein sind auf dem Tisch. Windturbinen-Farmen sind bei uns landschaftlich problematisch und nur an wenigen Orten ergiebig nutzbar. Eine enge Kooperation zwischen grossen internationalen Solar- und Windkraftanlagen mit den alpinen Speicherwerken wird ein wichtiger Mosaikstein der Energiepolitik werden.

Die Schweiz kann die Strombatterie Europas sein und damit dem Land eine gute Energiezukunft sichern. Voraussetzung ist, dass sich die Schweiz an der Konzeption und Realisierung der neuen transeuropäischen Stromkanäle, an den maritimen Windfarmen und den Solardomänen im Mittelmeerraum massgebend beteiligt.

#### Quellenverzeichnis

- Ente Nazionale per l'Energia Elettrica (ENEL) (2012); schriftl. Mitt. (auf Anfrage) von Pro Loco Maccagno, info@prolocomaccagno.it
- [http://it.wikipedia.org/wiki/Centrale\\_idroelettrica\\_di\\_Roncovalgrande](http://it.wikipedia.org/wiki/Centrale_idroelettrica_di_Roncovalgrande) (2012)
- [http://it.wikipedia.org/wiki/Lago\\_Delio](http://it.wikipedia.org/wiki/Lago_Delio) (2012)
- [http://www.enel.it/it-IT/impianti/mappa/lombardia/roncovalgrande\\_maccagno\\_va.aspx](http://www.enel.it/it-IT/impianti/mappa/lombardia/roncovalgrande_maccagno_va.aspx) (2012)
- <http://www.epexspot.com/en/market-data/>

- [auction/chart/auction-chart](http://www.auction/chart/auction-chart) (2012)
- Bundesamt für Energie BFE (2010); Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2010
- European Energy Exchange AG, Leipzig (2011); Strompreise 2011
- BINE Informationsdienst Energieforschung für die Praxis, Karlsruhe (2009): Geothermische Stromerzeugung in Soultz-sous-Forêts
- *Speich Andreas* (2012); Grafiken:
- <http://www.desertec.org/concept> (2012)
- <http://www.abb.com/industries/ge/9AAC30100013.aspx> (2012)
- *Schiegg Hans O.* (2011); Geschlossene Geothermie, Vortragsdokumentation

Anschrift der Verfasser

*Andreas Speich*

31, piazza Vittorio Emanuele III

I-28822 Cannobio

speich@mail.archi.it

*Christian Göldi*

Kohlfirststrasse 37

CH-8203 Schaffhausen

goeldi@swissworld.ch