



Postulat von Pirmin Andermatt
betreffend Pumpspeicherkraftwerk zwischen Ägeri- und Zugersee
(Vorlage Nr. 3385.1 - 16891)

Bericht und Antrag des Regierungsrats
vom 21. März 2023

Sehr geehrter Herr Präsident
Sehr geehrte Damen und Herren

Am 5. März 2022 hat Kantonsrat Pirmin Andermatt, Baar, das Postulat betreffend Pumpspeicherkraftwerk zwischen Ägeri- und Zugersee (Vorlage Nr. 3385.1 - 16891) eingereicht. Der Kantonsrat hat das Postulat am 31. März 2022 zur Antragstellung an den Regierungsrat überwiesen.

Unseren Bericht gliedern wir wie folgt:

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. In Kürze | 2 |
| 2. Einleitung | 2 |
| 3. Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee | 3 |
| 3.1. Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks | 3 |
| 3.2. Untersuchte Betriebskonzepte | 3 |
| 3.3. Technische Auslegung und Betrieb | 4 |
| 3.4. Speicherpotenzial und Pegelschwankungen des Ägerisees | 5 |
| 3.5. Auswirkungen auf die Stromproduktion der Lorzenkraftwerke | 6 |
| 4. Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit | 6 |
| 5. Beitrag des Pumpspeicherkraftwerks an die im Postulat aufgeführten Ziele | 7 |
| 5.1. Speicherung kurzfristig anfallender Solarstrom (Tagesüberschuss) und Kompensation fehlende PV-Produktion am Abend resp. während der Nacht | 7 |
| 5.2. Schaffung kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserven | 8 |
| 5.3. Einheimische, CO ₂ -freie Stromproduktion | 9 |
| 5.4. Beitrag an Stromversorgungssicherheit in der Schweiz und im Kanton Zug | 9 |
| 6. Beurteilung des Vorhabens aus gewässerschutzrechtlicher Sicht | 9 |
| 7. Beurteilung des Vorhabens aus Sicht des Natur- und Landschaftsschutzes | 10 |
| 7.1. Vorbemerkung | 10 |
| 7.2. Landschaftsschutz | 11 |
| 7.3. Fischerei | 11 |
| 8. Fazit | 12 |
| 9. Antrag | 13 |

1. In Kürze

Das Postulat fordert den Kanton auf, ein Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee zu prüfen. Mit überschüssigem Strom aus Photovoltaik (PV)-Anlagen soll Wasser am Tag hochgepumpt und am Abend und in der Nacht die fehlende PV-Produktion kompensieren. Das Werk soll zudem kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserven schaffen und zu einer CO₂-freien, lokalen Stromproduktion beitragen. Das Postulat verweist weiter auf eine mögliche Reduktion des Phosphorgehalts des Zugersees durch den Pumpbetrieb. Die Zuger Regierung teilt das Anliegen des Postulats, die einheimische, CO₂-freie Stromproduktion zu fördern, grundsätzlich. Allerdings könnte eine solche Anlage kaum wirtschaftlich betrieben werden und ihr energiepolitischer Nutzen wäre gering. Zudem wäre sie gewässerschutzrechtlich nicht realisierbar. Die Zuger Regierung beantragt daher, das Vorhaben nicht weiter zu verfolgen.

In den nächsten Jahren ist mit einem starken Anstieg der PV-Produktion zu rechnen. Angesichts der langen Lebensdauer eines Pumpspeicherkraftwerks wurde von einer installierten PV-Leistung im Kanton Zug von bis zu 360 MW ausgegangen (heute rund 50 MW). Würde mit dem überschüssigen PV-Strom während des Tages Wasser hochgepumpt, käme es im Sommer zu maximalen Pegelschwankungen von 42 cm. Im Winter wären die Schwankungen deutlich geringer.

Die Investitionskosten würden – bezogen auf die zu realisierende Leistung – im Bereich hochalpiner Pumpspeichieranlagen liegen. Für eine 340 MW-Anlage wäre mit rund 780 Millionen Franken zu rechnen. Sowohl ein auf die kurzfristige Speicherung von Solarstrom ausgerichteter als auch ein rein marktgetriebener Betrieb (ungeachtet der Restriktionen von Seiten des Gewässer- und Naturschutzes) wäre voraussichtlich nicht rentabel.

Eine Pumpspeichieranlage verbraucht netto mehr elektrische Energie als sie produziert. Rund ein Viertel der Energie geht verloren. Eine langfristige Speicherung von Sommerstrom und damit die Schaffung von zuschaltbaren Winterreserven wäre mit der vorgeschlagenen Anlage nicht möglich. Für die kurzfristige Speicherung von Solarstrom im Sommer wären dezentrale Lösungen, z. B. Batteriespeicher, geeigneter. Auch dürfte die Anlage nicht wesentlich zur Versorgungssicherheit des Kantons Zug im Fall eines Blackouts beitragen.

Der Beitrag zur Nährstoffsanierung des Zugersees wäre marginal. Sie würde jedoch zu einer Eutrophierung des Ägerisees führen, was gewässerschutzrechtlich nicht zulässig ist. Auch mit den Bestimmungen des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz wäre das Vorhaben nicht vereinbar. Es wäre zudem fischereirechtlich nicht bewilligungsfähig.

2. Einleitung

Zwischen Ägeri- und Zugersee liegen mehr als 300 Höhenmeter, die horizontale Distanz beträgt lediglich rund 10 km. Die Voraussetzungen für ein Pumpspeicherkraftwerk scheinen also gegeben. Im Jahr 2009 prüften die Wasserwerke Zug AG (WWZ) den Bau einer solchen Anlage. In diesem Zusammenhang wurden auch die Umweltauswirkungen detailliert untersucht¹. Das Projekt erwies sich als nicht realisierbar. Ausschlaggebend waren Bedenken aus Sicht des

¹ Die entsprechenden Berichte wurden der Baudirektion durch die WWZ AG zur Verfügung gestellt.

Natur- und des Gewässerschutzes. Insbesondere die Einleitung des stark phosphorhaltigen Wassers aus dem Zugersee in den Ägerisee erwies sich als nicht zulässig.

Das vorliegende Postulat fordert die erneute Prüfung eines solchen Kraftwerks. In den letzten zehn Jahren hat sich die energiepolitische Situation wesentlich verändert. Der Regierungsrat legt den Schwerpunkt in seiner Beantwortung des Postulats daher auf die Wirtschaftlichkeit eines solchen Vorhabens und seinen Beitrag an die Erreichung der vom Postulanten aufgeführten energiepolitischen Ziele. Basis dazu bildet eine Studie der Schnyder Ingenieure, Hünenberg². Diese Beurteilung erfolgt zunächst ohne Berücksichtigung von allfälligen Restriktionen von Seiten des Natur- oder Gewässerschutzes. Anschliessend folgt die Beurteilung aus gewässerschutzrechtlicher Sicht und aus Sicht des Natur- und Landschaftsschutzes.

3. Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee

3.1. Funktionsweise eines Pumpspeicherkraftwerks

Mit Pumpspeicherkraftwerken lässt sich elektrische Energie speichern. Ein oberes und ein unteres Speicherbecken sind mit einer Druckleitung verbunden, durch welche Wasser in beide Richtungen fließen kann. Im Turbinierbetrieb wird Wasser aus dem oberen Speicher zur Energieerzeugung genutzt. Das herabströmende Wasser treibt eine Turbine an, die über eine Welle mit einem Generator verbunden ist. Im Generator wird die mechanische Bewegungsenergie in elektrische Energie umgewandelt. Im Pumpbetrieb wird aus dem Generator ein Elektromotor, welcher elektrische Energie aus dem Stromnetz bezieht und in eine Drehbewegung umwandelt. Damit wird eine Pumpe angetrieben, die Wasser aus dem unteren Becken in das obere Becken pumpt. Ein Pumpspeicherkraftwerk erzeugt keine zusätzliche Energie. Da der Wirkungsgrad eines gesamten Pump-Turbinier-Zyklus in einer Grössenordnung von insgesamt 75 % liegt, geht rund ein Fünftel bis ein Viertel des eingesetzten Stroms verloren.

3.2. Untersuchte Betriebskonzepte

Eine der grössten energiepolitischen Herausforderungen stellt die Erhöhung der einheimischen Stromproduktion im Winter dar. Theoretisch wäre die Nutzung des Ägerisees als langfristiger Speicher für Solarstrom denkbar. Im Sommer würde Wasser mit überschüssigem Strom hochgepumpt, im Winter würde die entsprechende Wassermenge turbiniert. Stünden beispielsweise 100 GWh³ Solarstrom zur Verfügung (Szenario «Linearer Zubau», siehe unten und Abschnitt 3.4), würde der Pegel des Ägerisees um rund 20 m ansteigen resp. sinken. Da der See mitten in bewohntem Gebiet liegt, sind – ungeachtet der Umweltauswirkungen – lediglich Pegelschwankungen von maximal 1 m realistisch. Damit ist eine Nutzung als saisonaler Speicher in der Praxis nicht möglich. Entsprechend wird dieses Betriebskonzept, das im Postulat auch nicht angesprochen wird, nachfolgend nicht weiter untersucht.

Das Postulat nimmt in der Begründung Bezug auf die Speicherung von unregelmässig anfallendem Solarstrom sowie auf kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserven in Zeiten von Versorgungsengpässen. Dahinter stecken zwei unterschiedliche Betriebskonzepte.

² Pumpspeicherkraftwerk zwischen Ägeri- und Zugersee. Schnyder Ingenieure Dezember 2022 im Auftrag der Baudirektion.

³ Der Stromverbrauch im Kanton Zug beträgt aktuell rund 700 GWh pro Jahr.

- Das *Konzept I «Kurzfristige Speicherung von Solarstrom»* geht davon aus, dass es bei einem grossflächigen Zubau von PV-Anlagen zu gewissen Tageszeiten zu einer Überschussproduktion kommt. In einer Pumpspeichieranlage kann diese Energie verwendet werden, um Wasser in ein oberes Becken zu pumpen. Dieses steht dann am Abend oder in der Nacht für die Stromproduktion zur Verfügung. Im Jahr 2021 betrug die Produktion von PV-Strom im Kanton Zug 42 GWh, was einer installierten Leistung von rund 50 MW entspricht (Annahme: 840 Volllaststunden/Jahr). Damit werden rund 6 % des Strombedarfs im Kanton Zug mit lokalen PV-Anlagen erzeugt. In den nächsten Jahren ist mit einem starken Anstieg der PV-Produktion zu rechnen. Angesichts der langen Lebensdauer einer solchen Anlage wird mit einer Produktion von 300 GWh Energie pro Jahr gerechnet, was einer installierten Leistung von 360 MW entspricht. Unter der Annahme, dass 20 MW direkt genutzt würden (Eigenverbrauch), stehen 340 MW für den Pumpbetrieb zur Verfügung.
- Das *Konzept II «Marktgetriebener Einsatz»* fokussiert auf den sogenannten Spotmarkt, der in der Schweiz seit rund 15 Jahren existiert. Auf diesem ergibt sich für jede Stunde eines Tages aus dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage ein separater Strompreis. Pumpspeicherkraftwerke können auf diese Preissignale reagieren, indem sie bei tiefen Strompreisen Wasser in das obere Becken pumpen und bei hohen Strompreisen dieses wieder turbinieren. Die Preisdifferenz muss dabei auch jene Verluste ausgleichen, die sich aus dem Wirkungsgrad der Gesamtanlage ergeben. Die meisten Pumpspeicherkraftwerke, beispielsweise die Werke Linth–Limmern und Nant de Drance, funktionieren nach diesem Betriebskonzept. Sie sind auf den gesamteuropäischen Markt ausgerichtet.

3.3. Technische Auslegung und Betrieb

Zur Erstellung der Anlage wären umfangreiche bergmännische Arbeiten nötig, verbunden mit geologischen Unsicherheiten und Risiken. Bei einer installierten PV-Leistung von 360 MW wäre eine Druckleitung mit einer Kapazität von 129 m³/s erforderlich. Für die Bewältigung dieser Wassermenge müssten zwei oder drei parallele Leitungen mit relativ grossem Querschnitt gebaut werden. Die Leistung der Turbinen, Pumpen und Generatoren/Motoren müsste insgesamt 340 MW betragen, beispielsweise aus vier Maschinengruppen à je 85 MW. Sowohl die Druckleitungen als auch sämtliche Apparate könnten unterirdisch ausgeführt werden, sodass sie an der Oberfläche nicht wahrnehmbar wären. Im Zugersee würde die Wasserentnahme und -rückgabe zwischen Oberwil und Walchwil zu liegen kommen. Sie käme unter dem Wasserspiegel zu liegen und wäre dadurch ebenfalls nicht sichtbar. Für die exakte Positionierung spielen nebst einer möglichst kurzen Distanz auch die geologische Beschaffenheit des Untergrunds eine Rolle.

Die unterirdischen Installationen im Raum Oberwil/Walchwil wären über eine eigene Hochspannungsleitung an das elektrische Verteilnetz anzuschliessen. Im Falle des *Betriebskonzepts I «Kurzfristige Speicherung von Solarstrom»* wäre zudem je nach Lage der PV-Anlage(n) eine Verstärkung gewisser Hoch- oder Mittelspannungsleitungen innerhalb des Kantons notwendig.

Die Produktion von Solarstrom variiert im Jahresverlauf (siehe Abbildung 1), entsprechend variieren die Betriebszeiten des Pumpspeicherkraftwerks, wenn wie beim *Betriebskonzept I* einzig Strom aus der PV-Produktion zum Pumpen verwendet wird. Rund 40 % der Betriebsstunden entfallen auf die Monate Mai, Juni und Juli.

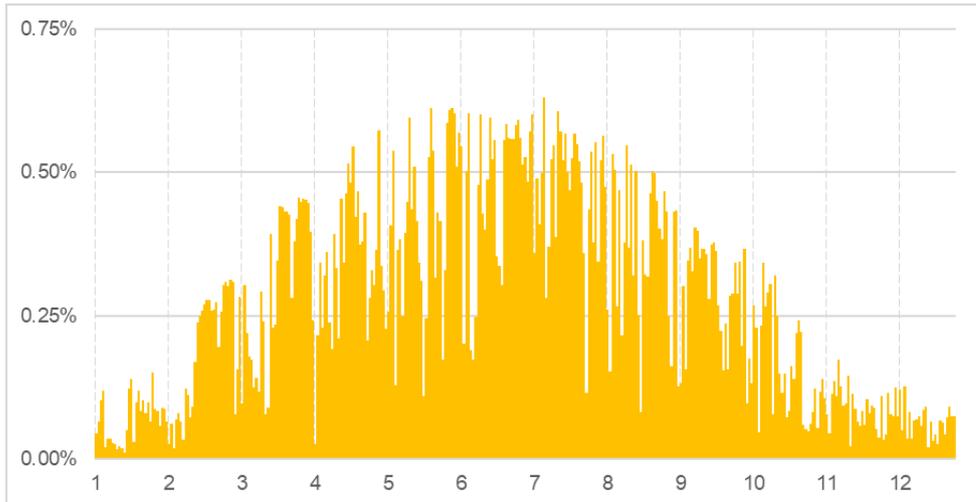


Abbildung 1: Anteil der täglichen Einspeisung aus PV-Anlagen an der Jahressumme 2019. Quelle: BFE.

Beim *Betriebskonzept II* richtet sich der Pumpbetrieb nach den Preisdifferenzen auf dem Spotmarkt. Aufgrund der Restriktion bei den Seepegelschwankungen beträgt ein Pump-Turbinier-Zyklus lediglich wenige Stunden. Der Betrachtungshorizont ist daher auf einen Tag einzuschränken. Im Jahr 2021 hätte es sich an 1554 Stunden gelohnt, Wasser hochzupumpen und gleichentags zu höheren Strompreisen wieder zu turbinieren. Im Jahr 2007 wären es noch 2565 Stunden gewesen. Grund für die kleineren Preisdifferenzen innerhalb des Tags sind insbesondere die tieferen Strompreise um die Mittagszeit durch den Ausbau der PV-Produktion.

3.4. Speicherpotenzial und Pegelschwankungen des Ägerisees

Die Fläche des Ägerisees beträgt 7,2 km², sein Volumen umfasst 357 Mio. m³. Das Speicherpotenzial bezeichnet die Energiemenge, welche sich durch Turbinierung in den Zugersee aufgrund der Höhendifferenz erzeugen liesse. Theoretisch beträgt es 230 GWh. Limitierend sind jedoch die zulässigen Pegelschwankungen. Bei 100 cm sind es rund 5000 MWh, bei 30 cm 1500 MWh und bei 10 cm 500 MWh. Das Volumen des Zugersees ist rund fünf Mal grösser, seine Pegelschwankungen sind daher fünf Mal geringer.

Pegelschwankungen bei Betriebskonzept I «Kurzfristige Speicherung von Solarstrom»

Entsprechend der saisonal unterschiedlichen solaren Produktion⁴ ergeben sich unterschiedliche tägliche Pegelschwankungen des Ägerisees. Bei einer Pumpleistung von 100 MW (120 MW installierte PV-Leistung) würde der Pegel des Ägerisees im Winterhalbjahr während eines Tages maximal 27 cm schwanken, im Sommer maximal 42 cm.

Pegelschwankungen bei Betriebskonzept II «Marktgetriebener Einsatz»

Idealerweise wird bei diesem Betriebskonzept an einem Tag während zwölf Stunden gepumpt und während zwölf Stunden turbiniert. In diesem Fall wären mit 77 cm Pegeldifferenz zu rechnen. Die Analyse der Spotpreise 2021 zeigt allerdings, dass sich in diesem Jahr an keinem Tag ein zwölfstündiger Pumpbetrieb gelohnt hätte. Ein elfstündiger Pumpbetrieb hätte sich an zwei Tagen gelohnt, was zu einer Pegeldifferenz von 71 cm geführt hätte.

⁴ Grundlage: Einspeisung 2021 aller PV-Anlagen im Schweizer Vergütungssystem, die mit einer Lastgangmessung ausgerüstet sind (Quelle: Webseite Pronovo).

3.5. Auswirkungen auf die Stromproduktion der Lorzenkraftwerke

Durch den Pumpspeicherbetrieb würden die Pegelschwankungen innerhalb eines Tages auftreten anstelle der langsamen Veränderung während des Jahres. Mit leichten Anpassungen der bereits bestehenden Reguliereinrichtung kann der regelmässige Abfluss durch die Lorze weiterhin sichergestellt werden und somit wäre die Stromproduktion der Lorzenkraftwerke nicht beeinträchtigt.

4. Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit einer Wasserkraftanlage ergibt sich einerseits aus den realisierbaren Erträgen durch den Energieverkauf und andererseits den damit verbundenen Aufwänden, die sich hauptsächlich aus den Kapitalkosten, den Betriebskosten sowie Abgaben zusammensetzen. Die Kapitalkosten werden massgeblich durch die Investitionssumme bestimmt. Aufgrund der Kapitalintensität und der langen Amortisationszeit von Infrastrukturanlagen sind sie weitgehend vorgegeben, sobald die Investition einmal erfolgt ist.

Basis für die nachfolgenden Überlegungen sind Angaben aus den Geschäftsberichten kürzlich realisierter Pumpspeicherkraftwerke (Kraftwerke der Linth–Limmern AG, 1000 MW, und der Nant de Drance SA, 900 MW). Danach belaufen sich die Investitionskosten für ein Werk Ägerisee–Zugersee mit einer installierten Leistung von 340 MW auf rund 782 Millionen Franken. Die jährlichen Kapitalkosten⁵ betragen 42,5 Millionen Franken.

Aus dem Energieverkauf resultieren die finanziellen Mittel, um die jährlichen Kapitalkosten zu decken. Der Beitrag, den eine MWh mittels Turbinierung erzeugter Strom, zur Deckung der Kapitalkosten leisten muss, ist abhängig von der Anzahl Betriebsstunden (siehe Abbildung 2).

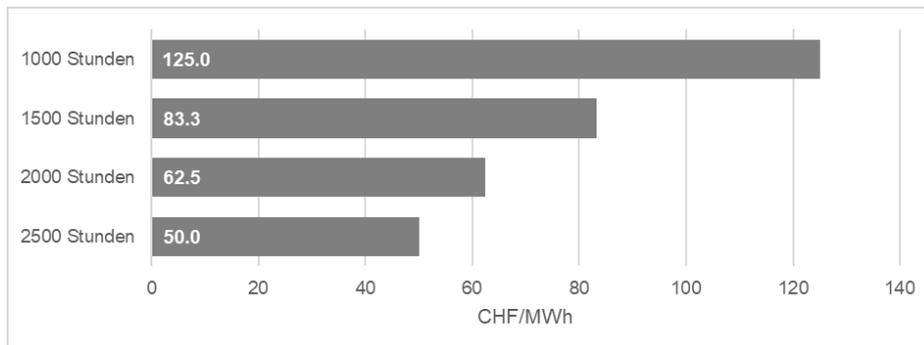


Abbildung 2: Relative Kapitalkosten in Abhängigkeit der Betriebsstunden.

Betriebskonzept I «Kurzfristige Speicherung von Solarstrom»

Aufgrund der Sonnenscheindauer wird von rund 1000 Stunden Pumpbetrieb ausgegangen. Daraus ergeben sich anteilmässig Kapitalkosten in der Höhe von 125 Franken pro MWh. Zur Berechnung der Gestehungskosten kommen die Betriebskosten sowie die Kosten für die Pumpenergie hinzu. Nimmt man jährliche Betriebskosten von 10 Millionen Franken an, erhöhen sich die Gestehungskosten auf ca. 155 Franken pro MWh (15.5 Rappen pro kWh). Die Kosten für die Pumpenergie werden hier vernachlässigt, da von einer Überschussproduktion der PV-Anlagen im Kanton ausgegangen wird. In der aktuellen Marktsituation könnten Erlöse für eingespeiste

⁵ Annahme: kalkulatorischer Zinssatz 4,5 %, Amortisationsdauer 40 Jahre.

Energie in der Grössenordnung der erwähnten 155 Franken pro MWh tatsächlich realisiert werden. In den früheren Jahren lagen die Strompreise jedoch deutlich unter diesem Wert und es ist nicht davon auszugehen, dass das aktuelle Preisniveau über Jahrzehnte so anhalten wird, was für die Refinanzierung der Anlage jedoch nötig wäre.

Die Kosten für allfällige Netzverstärkungen als Folge des PV-Ausbaus sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Betriebskonzept II «Marktgetriebener Einsatz»

Die Anzahl der Betriebsstunden ist abhängig von den Preisdifferenzen innerhalb des Betrachtungszeitraums von einem Tag. Wie in Abschnitt 3.3 dargelegt, sind diese seit einigen Jahren sinkend (auch wenn das Preisniveau absolut stark gestiegen ist). Weil beim marktgetriebenen Einsatz die Anzahl Stunden und damit die erzeugte Energiemenge von Jahr zu Jahr deutlich stärker schwanken als die Stromerzeugung aus PV-Anlagen, steht in der folgenden Betrachtung nicht mehr die produzierte Energie im Zentrum, sondern die installierte Leistung. Bei spezifischen Investitionskosten von 2300 Franken pro kW (bzw. 2,3 Millionen Franken pro MW) und den bereits oben verwendeten Annahmen ergeben sich jährliche Kapitalkosten von 125 000 Franken pro MW. In den vergangenen Jahren hätte ein Deckungsbeitrag aufgrund der Preisdifferenzen am Markt zwischen 36 000 und 90 000 Euro pro MW resultiert. Unter Berücksichtigung des Euro-Kurses hätten in den Jahren 2012, 2017 und 2021 die jährlichen Kapitalkosten nicht aus dem Deckungsbeitrag gedeckt werden können, der sich aus der Preisdifferenz am Markt ergibt. Die Betriebskosten sind in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass bei beiden Konzepten voraussichtlich⁶ kein rentabler Betrieb möglich ist. Die Investitionskosten wären sehr hoch. Die Anzahl Betriebsstunden hingegen, bei denen genügend Ertrag generiert werden kann, um die hohen Kapitalkosten zu finanzieren, wäre bei beiden Betriebskonzepten tief. Limitiert wird die Anzahl Betriebsstunden beim *Betriebskonzept I* durch die PV-Produktion, beim *Betriebskonzept II* durch die maximal mögliche Pegelschwankung von 1 m.

5. Beitrag des Pumpspeicherkraftwerks an die im Postulat aufgeführten Ziele

5.1. Speicherung kurzfristig anfallender Solarstrom (Tagesüberschuss) und Kompensation fehlende PV-Produktion am Abend resp. während der Nacht

Während die Stromproduktion von PV-Anlagen – wie mehrfach erwähnt – im Winter wesentlich tiefer ist als im Sommer (siehe Abbildung 1), verhält es sich beim Stromverbrauch gerade umgekehrt. Er ist im Winter deutlich höher als im Sommer. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die Lastprofile (aus dem Netz bezogene elektrische Leistung) mehrerer Zuger Gemeinden am Tag mit der höchsten resp. tiefsten Leistung. Im Jahr 2022 waren dies der 20. Januar resp. der 31. Juli.

⁶ Eine Prognostizierung der künftigen Strompreise wurde nicht vorgenommen. Sie würde den Rahmen der Postulatsbeantwortung sprengen.

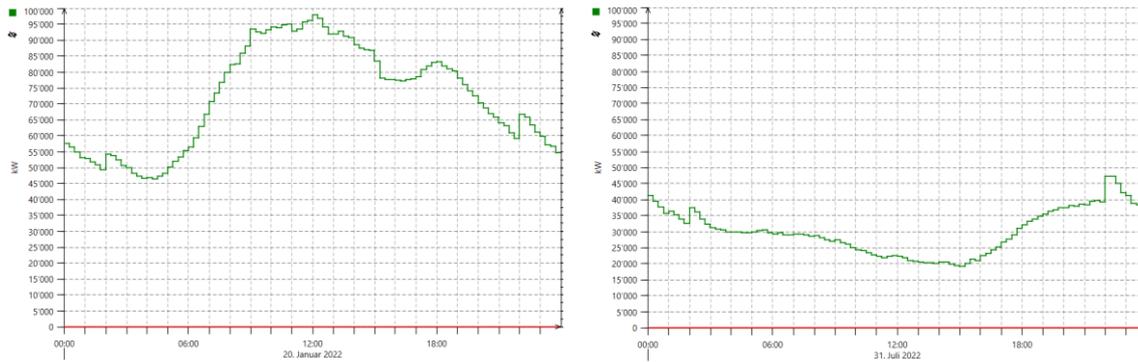


Abbildung 3: Lastprofil der Gemeinden Baar, Cham, Hünenberg See, Edlibach, Neuheim, Steinhausen, Walchwil und Zug⁷ an einem ausgewählten Wintertag (links) resp. Sommertag (rechts)⁸. Quelle: WWZ AG.

Am 20. Januar 2022 war der Stromverbrauch insbesondere um die Mittagszeit hoch. Entsprechend wäre dann kaum Überschussstrom aus PV-Anlagen angefallen. Ein Strombezug des Pumpspeicherkraftwerks in diesen Stunden hätte das elektrische Verteilnetz zusätzlich belastet. Am 31. Juli 2022 hingegen hätte ausreichend Strom aus PV-Anlagen für den Pumpbetrieb zur Verfügung gestanden.

Eine kurzfristige Speicherung von Strom aus PV-Anlagen ist aus energiepolitischer Sicht mindestens im Sommerhalbjahr sinnvoll. Diese lässt sich jedoch auch mittels dezentralen Batteriespeichern realisieren. Werden sie nah beim Produktions- und Verbrauchsort platziert, kann zudem der Ausbau des Verteilnetzes auf den unteren Spannungsebenen reduziert werden. Hinzu kommt, dass für PV-Anlagenbetreiber die Kosten für das Verteilnetz entfallen. Beim Bezug von Strom aus einem Pumpspeicherkraftwerk müsste für jede bezogene kWh der volle Betrag ans Verteilnetz bezahlt werden. Künftig dürfte zudem ein Thema werden, ob die Speicher von Elektrofahrzeugen vermehrt bidirektional genutzt werden können (siehe Postulat der Fraktion Alternative – die Grünen betreffend Förderung der Energiespeicherung, Bericht und Antrag des Regierungsrats vom 21. März 2023 [Vorlage Nr. 3392.2 - 17251]).

5.2. Schaffung kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserven

Mit 340 MW würde die Leistung der Anlage über das Zwanzigfache der summierten Leistung sämtlicher bestehender Wasserkraftwerke innerhalb des Kantons Zug betragen. Damit könnte das Pumpspeicherkraftwerk einen substantiellen Beitrag leisten bei der Zurverfügungstellung kurzfristiger Produktionsreserven. Beim *Betriebskonzept I* «*Kurzfristige Speicherung von Solarstrom*» ist die verfügbare Leistung allerdings direkt abhängig von der tatsächlichen Erzeugung der PV-Anlagen. Im Winterhalbjahr sowie an bedeckten Tagen steht deutlich weniger Leistung zur Verfügung. Beim *Betriebskonzept II* «*Marktgetriebener Einsatz*» würde die volle Leistung aufgrund der Restriktionen bei der Seepegelschwankung während maximal sechs Stunden zur Verfügung stehen. Danach müsste wieder in den Pumpbetrieb gewechselt werden.

Mindestens ein Teil der installierten Leistung könnte also als kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserve genutzt werden. Allerdings ist der Bedarf an flexibel einsetzbarer Pump- und Turbinenleistung durch die bestehenden Anlagen in der Schweiz aktuell gut abgedeckt. Schliesslich ist das Stromverteilnetz im Kanton Zug sehr gut in das gesamtschweizerische Netz eingebunden. Dies erlaubt den Import von elektrischer Energie aus unterschiedlichen Landesteilen.

⁷ Nicht enthalten sind Risch, Hünenberg (Dorf), Menzigen (Dorf), Unterägeri sowie Oberägeri, da diese netzseitig über andere Zuleitungen versorgt werden.

⁸ Der Peak um 22 Uhr ist auf die Zuschaltung elektrischer Verbraucher (Wärmepumpen, Elektroboiler, Elektroheizungen u. a.) mittels Rundsteuersignal der Netzbetreiberin zurückzuführen.

5.3. Einheimische, CO₂-freie Stromproduktion

Eine Pumpspeichieranlage verbraucht netto mehr elektrische Energie als sie produziert. Rund ein Viertel der Energie geht verloren. Selbst wenn die fürs Pumpen eingesetzte Energie zu 100 % aus einheimischen und CO₂-freien Stromquellen stammt, wird unter dem Strich keine zusätzliche Energie gewonnen.

5.4. Beitrag an Stromversorgungssicherheit in der Schweiz und im Kanton Zug

Die aktuell grösste Herausforderung zur Sicherung der Stromversorgungssicherheit der Schweiz ist das saisonale Ungleichgewicht zwischen Stromverbrauch und -produktion. Dringend nötig wären zusätzliche Produktionskapazitäten im Winterhalbjahr. Aufgrund der Lage des Ägerisees in einem besiedelten Gebiet und der daraus folgenden Beschränkung der Pegeldifferenzen leistet das vorgeschlagene Pumpspeicherprojekt keinen Beitrag dazu.

Die Schweiz ist international in das europäische Verbundnetz eingebunden, in welchem eine Frequenz von 50 Hz eingehalten werden muss. Wäre im Fall eines Worstcase-Szenario der synchrone Betrieb des kontinentaleuropäischen Stromnetzes gestört, würde dieses kurzzeitig in autonome Teilnetze aufgespalten. Es ist höchst fraglich, ob im Kanton Zug in einer solchen Situation die Ebene des Verteilnetzes eine gewisse Zeit lang autonom betrieben werden könnte. Sofern die Schweizer Stauseen über einen gewissen minimalen Füllstand verfügen, dürfte auch in solchen Ausnahmesituationen genügend Leistung zur Sicherstellung des gesamtschweizerischen Netzbetriebs vorhanden sein.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass der Beitrag eines Pumpspeicherkraftwerks Ägerisee an die im Postulat aufgeführten energiepolitischen Ziele gering wäre. Dem geringen Nutzen stünden – wie im Kapitel 4 aufgezeigt – sehr hohe Investitionskosten gegenüber.

6. Beurteilung des Vorhabens aus gewässerschutzrechtlicher Sicht

Phosphor ist in unseren Seen der für das biologische Wachstum aber auch für die Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser massgebende Nährstoff. Das Gewässerschutzrecht verlangt, dass der Nährstoffgehalt der Seen höchstens zu einer mittleren Produktion von Biomasse führt. Der sehr «saubere» und klare Ägerisee weist einen geringen mittleren Gehalt von rund 7 mg Phosphor pro Kubikmeter Seewasser auf. Damit gehört der Ägerisee zu den nährstoffarmen (oligotrophen) Seen mit einer geringen biologischen Produktion. Demgegenüber beträgt der mittlere Gehalt des nährstoffreichen (eutrophen) Zugersees rund 78 mg Phosphor pro Kubikmeter Seewasser; das Ziel der Nährstoffsanierung des Zugersees liegt bei einem Gehalt unter 30 mg Phosphor pro Kubikmeter Seewasser.

Der Postulant beantragt die Prüfung, ob der Betrieb des Pumpspeicherkraftwerks zwischen Ägeri- und Zugersee die Rückführung des Zugersees in den gewässerschutzrechtlich verlangten mittelnährstoffreichen Zustand durch Verdünnung des nährstoffreichen Zugerseewassers unterstützen könne. Die Vermischung der beiden Seen hätte längerfristig die allmähliche Angleichung des Phosphorgehalts in den beiden Seen zur Folge. Für den mittleren Phosphorgehalt nach vollständiger Durchmischung sind die heute vorhandenen Phosphorgehalte und die Wasservolumina der beiden Seen massgebend. Der Zugersee ist ein grosser und tiefer See mit einem Wasservolumen von 3243,68 Mio. m³. Das Volumen des Ägerisees beträgt

357,38 Mio. m³. Bei einer vollständigen Vermischung des Wassers der beiden Seen ergäbe sich ein mittlerer Phosphorgehalt von 70 mg Phosphor pro Kubikmeter Seewasser. Damit würde der Pumpspeicherbetrieb – selbst bei einer vollständigen Vermischung des Wassers der beiden Seen – den Phosphorgehalt des Zugersees nicht massgeblich senken und lediglich einen marginalen Beitrag zur Nährstoffsanierung des Zugersees beitragen.

Hingegen wären für den Ägerisee die gewässerökologischen Effekte des Wasseraustauschs mit dem Zugersee enorm. Die Phosphoranreicherung im Ägerisee durch den Pumpspeicherbetrieb würde zu einer deutlichen Steigerung der biologischen Produktion und der Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser führen (Eutrophierung des Ägerisees). Die eidgenössische Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998 (GSchV; SR 814.201) verlangt im Anhang 2 Ziff. 13 Abs. 3 Bst. a. unter anderem, dass in Seen die Nährstoffverteilung sowie die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für Organismen durch Wassereinleitungen und Wasserentnahmen nicht nachteilig verändert werden dürfen. Zudem gibt Anhang 2 Ziff. 13 Abs. 2 GSchV vor, dass der Nährstoffgehalt eines Sees höchstens eine mittlere Produktion von Biomasse zulässt. Beide gewässerschutzrechtlichen Anforderungen könnten mit dem vom Postulat vorgeschlagenen Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerks nicht eingehalten werden.

7. Beurteilung des Vorhabens aus Sicht des Natur- und Landschaftsschutzes

7.1. Vorbemerkung

Es wird insbesondere auf den Ägerisee eingegangen, da die grössten Auswirkungen hier zu erwarten sind.

Am Ägerisee liegen zahlreiche Flachmoore von nationaler Bedeutung (Riederer I und II, Rieter, Sagen, Neselen), welche gemäss Art. 78 Abs. 5 der Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV; SR 101) streng geschützt sind. Gemäss Art. 4 der Verordnung über den Schutz der Flachmoore von nationaler Bedeutung vom 7. September 1994 (Flachmoorverordnung; SR 451.33) müssen die Objekte ungeschmälert erhalten werden. Zum Schutzziel gehören insbesondere die Erhaltung und die Förderung der standortheimischen Pflanzen- und Tierwelt und ihrer ökologischen Grundlagen.

Das Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (NHG; SR 451) verlangt zudem in den Art. 18 Abs. 1^{bis} und 21 einen besonderen Schutz von Ufervegetation und Uferbereich aufgrund ihres hohen ökologischen Werts. Insbesondere ihre grosse Artenvielfalt macht sie zu äusserst wertvollen Lebensräumen. Die Ufervegetation reicht dabei von den Pflanzengesellschaften, deren Hauptwurzelausläufer im Einflussbereich der gewässerbeeinflussten Grundwasserspitzen liegt, bis zu den untersten submersen (untergetauchten Pflanzen). Der Uferbereich umfasst neben den floristischen Werten auch die faunistischen Werte.

Neben den gewässerschutzrechtlichen Auswirkungen eines Pumpspeicherbetriebs (siehe Kapitel 6) ergeben sich weitere negative Auswirkungen auf die Uferbereiche aufgrund der zu erwartenden Pegelschwankungen:

- Die Flachwasserzonen sind ein wichtiges Habitat für Jungfische vieler Arten sowie wichtige Laichhabitate. Bei ständigen Wasserspiegelschwankungen besteht die Gefahr, dass Laich oder Jungfische trockenfallen und somit die Fortpflanzung der entsprechenden Fischarten

gefährdet wird. Zudem werden trockenfallende Uferbereiche kaum oder nur noch sehr spärlich durch Wirbellose besiedelt und verlieren damit auch für diese Organismengruppe ihre Eignung als Habitat.

- Häufige regelmässige Pegelschwankungen führen zu Veränderungen in der Ausdehnung der Unterwasservegetation, aber auch zu landseitigen Veränderungen von geschützten Pflanzengesellschaften, insbesondere in Flachmoorflächen. Anstelle von jahreszeitlichen Wasserpegelschwankungen treten kurzzeitig wiederkehrende auf, an welche z. B. auch die Insektenfauna der Riedwiesen nicht angepasst ist.
- Vögel, welche im Bereich der Land-Wassergrenze nisten, werden in ihrem Bruthabitat beeinträchtigt. Zwar bauen einige Arten ihre Nester schwimmend, es ist jedoch zu erwarten, dass aufgrund der häufigen Pegelschwankung die generelle Eignung des Uferbereichs als Bruthabitat für Vögel abnimmt.
- Wellenschlag wirkt je nach Pegelstand und Ufermorphologie unterschiedlich auf das Ufer ein und kann erhöhte Erosion verursachen. Dies kann wiederum zu direktem Verlust von wertvoller Vegetation im Uferbereich führen (z. B. Rückgang des Schilfgürtels).

Im Weiteren beschleunigt ein Pumpspeicherbetrieb die Verbreitung von invasiven Arten wie z. B. der Quaggamuschel. Diese ist nicht nur aus ökologischer, sondern auch aus ökonomischer Sicht problematisch, indem sie z. B. Seewasserafassungen verstopft und damit den Wartungsaufwand erhöht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass ein Pumpspeicherkraftwerk nicht mit den Bestimmungen des Bundesgesetzes über den Natur- und Heimatschutz vereinbar wäre.

7.2. Landschaftsschutz

Sowohl die Druckleitungen als auch sämtliche Anlagenteile könnten unterirdisch ausgeführt werden, sodass sie an der Oberfläche nicht wahrnehmbar wären. Insofern sind von technischen Einrichtungen der Stromerzeugung keine landschaftlichen Beeinträchtigungen zu erwarten bzw. diese können minimal gehalten werden. Auch die für die Einspeisung des Stroms ins Netz notwendige Hochspannungsleitung kann grundsätzlich als Seekabel verlegt werden. Je nach Betriebskonzept wäre aber auch die Verstärkung gewisser Hoch- oder Mittelspannungsleitungen innerhalb des Kantons nötig. Die diesbezüglichen Auswirkungen auf die Landschaft bleiben vorbehalten.

Die Pegelschwankungen können zu einer landschaftlichen Beeinträchtigung führen, indem Uferpartien zeitweise freiliegen. Die diesbezüglichen landschaftlichen Auswirkungen können jedoch zurzeit nicht abgeschätzt werden und hängen von der jeweiligen Uferbeschaffenheit, der Pegelschwankung bzw. dem Betriebskonzept ab.

Eine allfällige Veränderung der Uferbereiche, z. B. durch Rückgang der Schilfgürtel, führen zu einer weiteren Trivialisierung der Landschaft. Solche Veränderungen der Landschaftsvielfalt sind schleichend und werden daher von der Bevölkerung weniger wahrgenommen.

7.3. Fischerei

Artikel 1 des Bundesgesetzes über die Fischerei vom 21. Juni 1991 (BGF; SR 923.0) verlangt, dass die natürliche Artenvielfalt und der Bestand einheimischer Fische, Krebse und Fischnährtiere sowie deren Lebensräume erhalten, verbessert oder nach Möglichkeit wiederhergestellt werden. Wenn baulich in ein Gewässer oder in den Wasserhaushalt eingegriffen werden soll,

braucht es eine fischereirechtliche Bewilligung gemäss Art. 8 BGF. Die Bewilligung kann erteilt werden, sofern keine überwiegenden Interessen der Fischerei im Sinne von Art. 1 BGF tangiert werden.

Ein Pumpspeicherkraftwerk zwischen dem Ägeri- und dem Zugersee würde grosse und schwerwiegende ökologische Auswirkungen haben, die zu signifikant veränderten Lebensbedingungen der Fische und der Fischnährtiere führen würden. Insbesondere sind die Zunahme des Nährstoffgehalts im Wasser, die Zerstörung von ufernahen Laichgebieten aufgrund der Wasserschwankungen und die Einschleppung von gebietsfremden Arten zu erwähnen. Unter diesen schwerwiegenden Beeinträchtigungen der Interessen der Fischerei kann eine fischereirechtliche Bewilligung auch nach Abwägung der Gesamtinteressenlage nicht erteilt werden.

8. Fazit

Das Postulat schlägt ein Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee vor. Mit überschüssigem Strom aus PV-Anlagen soll Wasser am Tag hochgepumpt und am Abend und in der Nacht turbinert werden. Das Werk soll zudem kurzfristig zuschaltbare Produktionsreserven schaffen und zu einer CO₂-freien, lokalen Stromproduktion beitragen. Das Postulat verweist zudem auf eine mögliche Reduktion des Phosphorgehalts des Zugersees durch den Pumpbetrieb.

Die Zuger Regierung teilt das Anliegen des Postulats, die einheimische, CO₂-freie Stromproduktion zu fördern, grundsätzlich. Gegen ein Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee sprechen jedoch folgende Argumente:

- Aufwendige Erstellung: Es wären umfangreiche bergmännische Arbeiten notwendig, verbunden mit den entsprechenden geologischen Unsicherheiten und Risiken.
- Hohe Investitionskosten: Die Investitionskosten würden – bezogen auf die zu realisierende Leistung – im Bereich hochalpiner Pumpspeichieranlagen liegen. Für eine 340 MW-Anlage würden sie rund 780 Millionen Franken betragen.
- Fehlende Rentabilität: Im Gegensatz zu alpinen Anlagen kann nur ein Teil des Speichervolumens genutzt werden, die Anzahl rentabler Betriebsstunden ist deutlich tiefer. Sowohl ein auf die kurzfristige Speicherung von Solarstrom als auch ein rein marktgetriebener Betrieb wäre – ungeachtet der Restriktionen von Seiten des Gewässer- und Naturschutzes – voraussichtlich nicht rentabel.
- Geringer energiepolitischer Nutzen: Eine Pumpspeichieranlage verbraucht netto mehr elektrische Energie als sie produziert. Rund ein Viertel der Energie geht verloren. Eine langfristige Speicherung von Sommerstrom und damit die Schaffung von zuschaltbaren Winterreserven ist mit der vorgeschlagenen Anlage nicht möglich. Für die kurzfristige Speicherung von Solarstrom im Sommer wären dezentrale Lösungen, z. B. Batteriespeicher, geeigneter. Auch dürfte die Anlage nicht wesentlich zur Versorgungssicherheit des Kantons Zug im Fall eines Blackouts beitragen.
- Gewässerschutzrechtlich nicht zulässig: Der Pumpbetrieb würde zu einer Eutrophierung des Ägerisees führen, was gegen Bestimmungen der eidgenössischen Gewässerschutzverordnung verstossen würde. Der Beitrag zur Nährstoffsanierung der Zugersees wäre marginal.
- Natur- und Landschaftsschutz: Das Vorhaben hätte aufgrund der unnatürlichen Pegelschwankungen und des grossen Nährstoffeintrags in heute nährstoffarme Lebensräume erhebliche Auswirkungen auf mehrere Flachmoore von nationaler Bedeutung sowie auf die durch Bundesrecht ebenfalls besonders geschützten Uferlebensräume. Eine derartige Beeinträchtigung durch eine technische Anlage würde gegen mehrere Bundesgesetze verstossen.

- Fischerei: Die zu erwartenden schwerwiegenden Veränderungen der Lebensbedingungen der Fische und der Fischnährtiere sowie die Einschleppung gebietsfremder Arten gefährden die natürliche Artenvielfalt im Ägerisee. Unter diesen Voraussetzungen ist das Projekt betreffend Pumpspeicherkraftwerk fischereirechtlich nicht bewilligungsfähig.

Aus Sicht des Zuger Regierungsrats ist ein Pumpspeicherkraftwerk Ägerisee–Zugersee nicht weiter zu verfolgen.

9. Antrag

Gestützt auf die vorstehenden Ausführungen beantragen wir Ihnen:

Das Postulat von Pirmin Andermatt betreffend Pumpspeicherkraftwerk zwischen Ägeri- und Zugersee (Vorlage Nr. 3385.1 - 16891) sei nicht erheblich zu erklären.

Zug, 21. März 2023

Mit vorzüglicher Hochachtung
Regierungsrat des Kantons Zug

Die Frau Landammann: Silvia Thalmann-Gut

Die stv. Landschreiberin: Renée Spillmann Siegwart