

L16: Die Wasserkraft

Teil 2: Wirtschaftliche Herausforderungen und Umweltaanforderungen

Energiewende in der Schweiz: verstehen um besser zu entscheiden

Prof. A. Schleiss

Mitautor P.-A. Haldi



Search MOOC



Video



- Aktuelle Herausforderungen: Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit durch Flexibilisierung
- Sicherheit der Talsperren bei Naturgefahren
- Ausnutzung von Synergien im Rahmen von neuen Mehrzweckprojekten
- Nutzung von neuen Gletscherseen
- Schlussfolgerungen



Sehr geehrte Damen und Herren, herzlich willkommen zu dieser Lektion über die Wasserkraft, welche der größte Elektrizitätsproduzent in der Schweiz ist. In diesem zweiten Teil, werden wir die wirtschaftlichen Herausforderungen und die Umweltausforderungen näher betrachten und diskutieren. Im ersten Teil haben wir gesehen, dass die Schweizer Wasserkraft zur Zeit im europäischen Strommarkt sehr stark benachteiligt ist. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wasserkraft zu verstärken und die zukünftige Stromnachfrage zu befriedigen, muss die Produktion unserer Kraftwerke flexibilisiert werden. Dies kann dadurch erreicht werden, indem die Leistung in den bestehenden Kraftwerkszentralen erhöht und vor allem die Speicher durch Talsperrenerhöhung vergrößert werden, so dass die Produktion auf die Stunden des größten Verbrauchs konzentriert werden kann. In diesem Zusammenhang werden wir kurz auch die Sicherheit der Talsperren diskutieren und dies im Hinblick auf Hochwasser und Erdbeben, welche die größte Naturgefahr darstellen. Anschließend betrachten wir die möglichen Synergien, welche im Rahmen von neuen Mehrzweckprojekten ausgenutzt werden können. Schlußendlich werfen wir einen Blick auf die zukünftige Nutzung der neuen Gletscherseen, welche beim Rückzug und Abschmelzen der Gletscher entstehen.

Notes

Summary



0m 05s

Aktuelle Herausforderungen der Wasserkraft

Verstärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wasserkraft durch Flexibilisierung der Produktion

Erhöhung der Jahresproduktion (geringes Potenzial)

- Einige neue grosse Wasserkraftwerke (>10 MW)
- Erweiterung der bestehenden Anlagen
- Ausbau der Kleinwasserkraftwerke (< 10 MW)*

* Minikraftwerke (< 1 MW) entlang noch **ungenutzten Bächen und Flüssen**: energiewirtschaftlich und ökonomisch fraglich und im Hinblick auf Umweltbeeinträchtigungen schwierig zu vertreten



Kraftwerk Ruppoldingen an der Aare

Energiewende Schweiz

Wie kann die Wettbewerbsfähigkeit der Wasserkraft in der Schweiz verstärkt werden? Im ersten Teil haben wir gesehen, dass das verbleibende Potential für die Erhöhung der Jahresproduktion relativ gering ist. Neben einigen neuen, großen Wasserkraftwerken, geht es vor allem darum, die bestehenden Anlagen zu erweitern und die Kleinwasserkraft an bereits genutzten Gewässern auszubauen. Der Bau von Kleinst- und Minikraftwerken, kleiner als ein Megawatt, entlang noch ungenutzten Bächen und Flüssen, ist energiewirtschaftlich und ökonomisch fraglich und im Hinblick auf die Umweltbeeinträchtigungen schwierig zu vertreten.

Notes

Summary



Verstärkung der Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wasserkraft durch Flexibilisierung der Produktion



Rehaussement du barrage de 208 m à 225 m Luzzone (TI) 1995 - 1999

Flexibilisierung der Produktion der bestehenden Kraftwerke und Erhöhung der Winterproduktion

- Erhöhung der Talsperren
- Erhöhung der installierten Turbinen- und Pumpenleistung
- Vergrößerung der Ausgleichsbecken
- Neue Kraftwerkszentralen und Triebwasserleitungen (parallel zu den bestehenden)

Energiewende Schweiz

Die Herausforderung besteht vor allem darin, die Produktion der bestehenden Kraftwerke zu flexibilisieren und die Winterproduktion zu erhöhen, was für die Versorgungssicherheit in der Schweiz und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem europäischen Strommarkt von vorrangiger Bedeutung ist. Die Produktion der Kraftwerke, kann durch folgende bauliche Maßnahmen flexibilisiert werden. Vergrößerung der Stauseen durch Erhöhung der Talsperren, Erhöhung der installierten Leistung der Pumpen und Turbinen in den bestehenden Kraftwerkszentralen, Vergrößerung der Ausgleichsbecken zwischen den bestehenden Kraftwerksstufen, sowie neue Kraftwerkszentralen und Triebwasserleitungen, welche parallel zu den bestehenden angeordnet sind und es erlauben, mehr Strom zu Spitzenstunden des Verbrauchs zu produzieren.

Notes

Summary



2m 11s

Flexibilisierung der Wasserkraft in der Schweiz

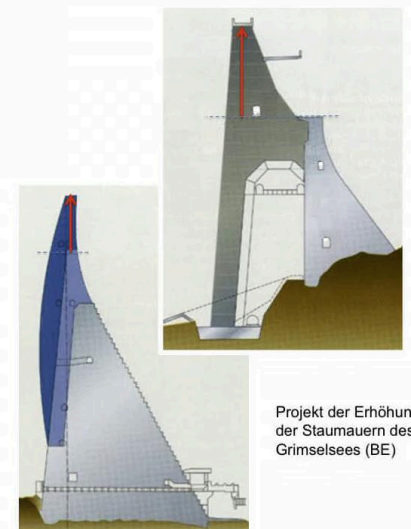
Flexibilisierung durch Erhöhung der bestehenden Talsperren



„Die Schweizer müssen höher sehen“ (La Liberté, 25.5.2011)

Geringe Erhöhungen (weniger als 10% der ursprünglichen Höhe):

- Zusätzliches Speichervolumen 700 Mio. m³
- Erhöhung der Winterproduktion mehr als 2 TWh



Projekt der Erhöhung der Staumauern des Grimselsees (BE)

Energiewende Schweiz

Betrachten wir das Beispiel der Erhöhung der bestehenden Talsperren. Mehrere Staumauern wurden in der Schweiz schon erhöht, wie die Bogenstaumauern Mauvoisin und Luzzzone in den 90iger Jahren. Mit geringfügigen Erhöhungen, das heißt weniger als 10 % der ursprünglichen Höhe, kann ein zusätzliches Speichervolumen von 700 Millionen Kubikmeter, bei etwa 20 denkbaren Projekten in der Schweiz erhalten werden. Solche geringfügigen Erhöhungen, können meistens ohne besondere Verstärkung der Mauer durchgeführt werden. Dadurch könnte die Winterproduktion um mehr als 2 Terawatt Stunden erhöht werden, was etwa 10 % der heutigen Wasserkraftproduktion im Winter entspricht. Die Vergrößerung der Speichervolumen in den Stauseen, ist nicht nur von größter Wichtigkeit für eine sichere und unabhängige Stromversorgung, sondern auch zur Stärkung der Schlüsselstellung der Schweizer Wasserkraft im europäischen Strommarkt.

Notes

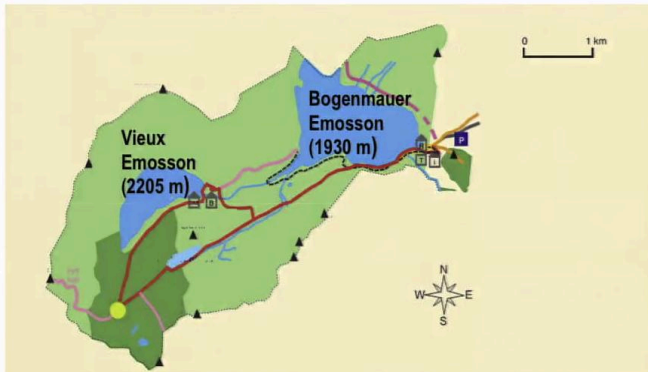
Summary



3m 04s

Flexibilisierung durch Erhöhung der bestehenden Talsperren

Beispiel:
Erhöhung der Staumauer Vieux Emosson



**Zukünftiges unterirdisches Pumpspeicherwerk:
Sechs Pumpturbinen mit 150 MW Leistung pro
Gruppe (Total 900 MW)**



(Photo Schleiss, Novembre 2013)

Energiewende Schweiz

Die Staumauer Vieux Emosson wurde kürzlich um 21,5 Meter erhöht. Dadurch konnte das Oberbecken des zukünftigen Pumpspeicherwerkes Nant de Drance um 7 Millionen Kubikmeter vergrößert werden.

Notes

Summary



4m 07s



Diese beschleunigten Fotosequenzen zeigen vorerst den Abbruch des oberen Teils der alten Gewichtsmauer, bevor diese mit neuem Beton erhöht und zu einer Bogenmauer umgebildet wird.

Notes

Summary

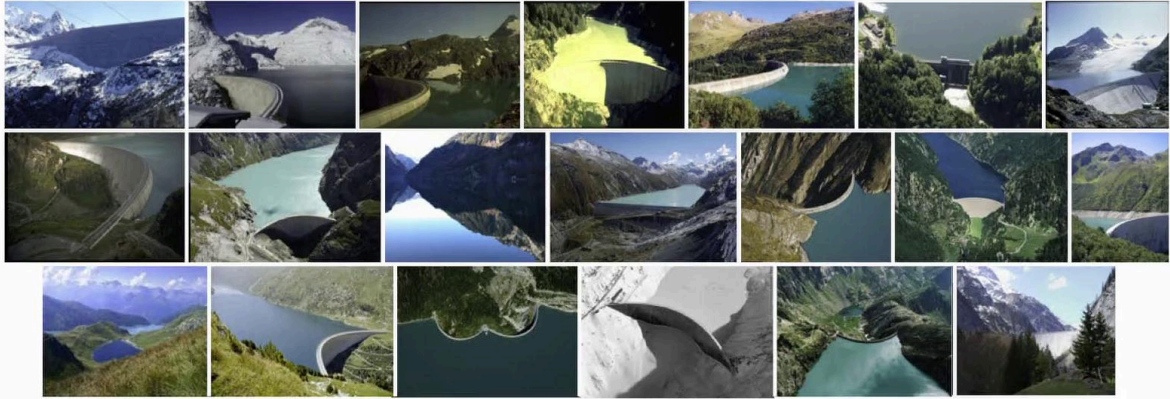
4m 26s



Flexibilisierung durch Erhöhung der bestehenden Talsperren

➤ Weitere mögliche Erhöhungen von Talsperren in der Schweiz:

- Albigna, Cavagnoli, Gebidem, Gries, Sihlsee, Klöntal, Sambuco, Ritom, Emosson, Santa Maria, Moiry, Limmern, Curnera, Nalps, Valle di Lei, Hongrin, Zervreila, Cavagnogli, Gigerwald, Mattmark, ...



Energiewende Schweiz

Hier sehen Sie eine nicht abschließende Liste von Talsperren, welche sich technisch für geringfügige Erhöhungen eignen würden und dies mit dem Ziel, die Speicherung der Stauseen zu vergrößern und so die Flexibilität der Wasserkraftwerke zu erhöhen.

Notes

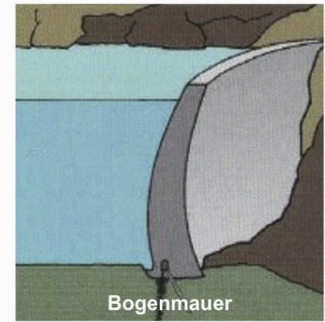
Summary



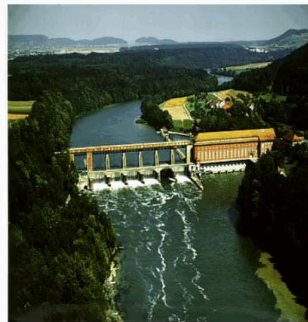
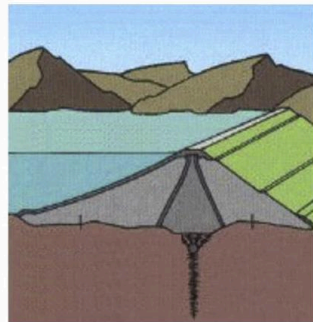
4m 47s

Arten von Talsperren

Betonmauern



Erd- oder Steinschüttdämme



Stauwehre

Energiewende Schweiz

Bevor wir kurz die Sicherheit der Talsperren diskutieren, betrachten wir die verschiedenen Arten von Talsperren. Gemäß den verwendeten Baumaterialien können die Talsperren in zwei große Familien eingeteilt werden: nämlich die Betonmauern, sowie die Erd- oder Steinschüttdämme. Zwei Drittel der Talsperren in der Schweiz sind Betonmauern. Die Gewichtsmauer widersteht dem Wasserdruck, wie der Name sagt, mit ihrem Eigengewicht. Die Gewichtsmauer besteht aus benachbarten dreiecksförmigen, massiven Betonkörpern. Die Gewichtsmauer Grande Dixence, welche immer noch die höchste weltweit dieser Art ist, gehört zu dieser Familie. Die Pfeilerkopfmauer widersteht ebenfalls mit ihrem Eigengewicht dem Wasserdruck. Um das benötigte Betonvolumen gegenüber einer Gewichtsmauer zu verringern, besteht diese Mauer aus sogenannten Pfeilerköpfen, welche eine komplexe Geometrie aufweisen und nebeneinander gestellt Hohlräume dazwischen belassen. Die Bogenmauer ist eine dreidimensionale Struktur, welche als Schale oder Gewölbe wirkt. Die Bogenmauern weisen eine starke Krümmung auf, welche es erlaubt, einen wichtigen Teil der Kräfte, auch seitlich in die Talflanken auf den Fels zu lenken.

Notes

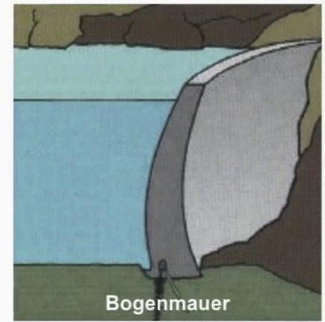
Summary



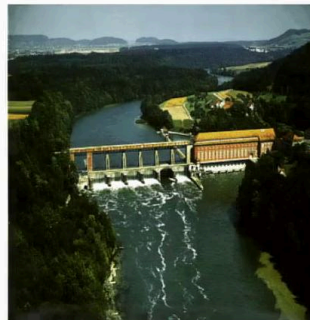
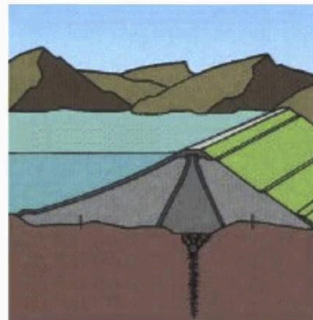
5m 04s

Arten von Talsperren

Betonmauern



Erd- oder Steinschütt-dämme



Stauwehre

Energiewende Schweiz

Im Vergleich zu den anderen zwei Arten, kann so erheblich an Betonvolumen gespart werden. Wie wir bereits im ersten Teil gesehen haben, sind die Stauwehre der Flusskraftwerke ein Sonderfall. Die Wehre neben der Kraftwerkszentralen sind mit großen Schützen ausgerüstet.

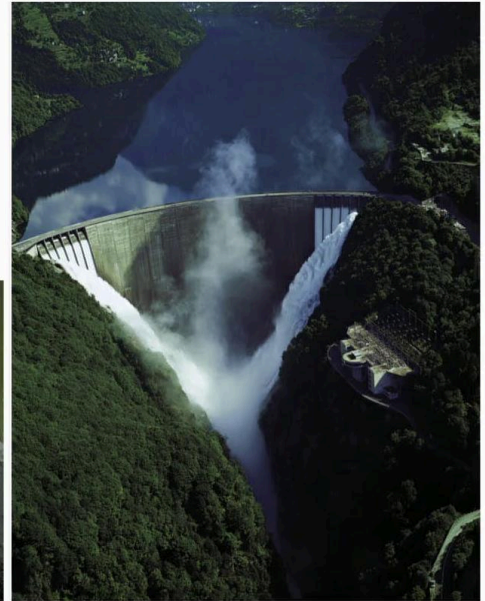
Notes

Summary



Sicherheit der Talsperren hinsichtlich Naturgefahren

- Die Beherrschung der Hochwasser verlangt, dass die Stauanlage dem grösst möglichen Ereignis am Standort widerstehen kann.
- Sicherheitsbauwerk: Hochwasserentlastung
- Bemessung für das tausendjährige Hochwasser und Überprüfung für maximal mögliche Hochwasser (>10'000 ans)



Energiewende Schweiz

Betrachten wir kurz die Sicherheit der Talsperren hinsichtlich Naturgefahren, wie Hochwasser und Erdbeben. Die Beherrschung der Hochwasser verlangt, dass die Stauanlage dem grösstmöglichen Hochwasserereignis am Standort widerstehen kann. Um die kontrollierte Abführung dieser extremen Hochwasser zu gewährleisten, ist die Talsperre mit einem Sicherheitsbauwerk ausgerüstet, auch Hochwasserentlastung genannt. Dieses Bauwerk ist als Notüberfall so dimensioniert, dass das sogenannte Projekt-Hochwasser ohne jegliche Schäden an der Staumauer abgeführt werden kann. Die Hochwasserentlastungsanlage muss selbst in der Lage sein, extreme Hochwasser, auch Sicherheitshochwasser genannt, abführen zu können, ohne dass ein gefährlicher Wasserstand im Stausee entsteht. Dieses Sicherheitshochwasser entspricht einem Katastrophenhochwasser, dessen Auftretungswahrscheinlichkeit kleiner als 10.000 Jahre ist.

Notes

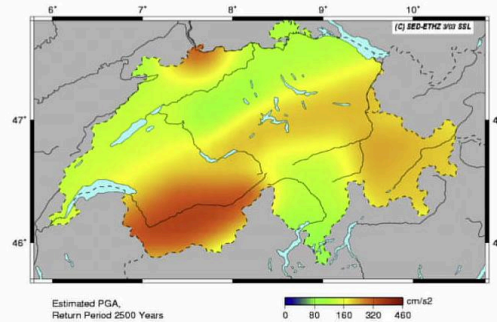
Summary



6m 47s

Sicherheit der Talsperren hinsichtlich Naturgefahren

- Die Beherrschung der Erdbeben bedingt, dass die Talsperre dem stärkst möglichen Ereignis am Standort widerstehen kann
- Bemessung für Erdbeben welche eine Wiederkehrperiode von 1000 bis 10'000 Jahre haben je nach Grösse der Talsperre



Energiewende Schweiz

Die Beherrschung der Erdbeben bedingt, dass die Talsperre dem stärkstmöglichen Ereignis am Standort widerstehen kann. Je nach Höhe der Talsperre und Inhalt des Stausees muss die Talsperre so dimensioniert werden, dass sie ohne Versagen einem Erdbeben widerstehen kann, welches mit einer Wiederkehrperiode von 1000 bis 10.000 Jahren auftreten kann. Die größte Erdbebengefahr in der Schweiz ist in der Region von Basel, sowie im Vallis zu verzeichnen, wie diese Erdbebenkarte zeigt. Um diese Naturgefahren zu beherrschen, werden die Talsperren regelmäßig überprüft, um eventuellen Veränderungen, wie Klimawandel Rechnung zu tragen. Wenn nötig, werden die Talsperren verstärkt, um die gestiegenen Sicherheitsanforderungen zu erfüllen. Das Bild rechts zeigt die sehr weit gespannte Staumauer Les Toules, welche kürzlich verstärkt wurde, um sehr seltenen Erdbeben zu widerstehen. Das Sicherheitskonzept der Talsperren in der Schweiz basiert nicht nur auf der strukturellen Sicherheit des Bauwerkes. Um auch das Restrisiko zu beherrschen, werden die Talsperren dauernd mit sehr speziellen und genauen Messgeräten überwacht. Im Weiteren wurden Notfallpläne entwickelt, welche es erlauben, bei großer Gefahr die gefährdeten Personen zeitgerecht zu evakuieren, falls der Bruch der Talsperre nicht mehr verhindert werden könnte.

Notes

Summary



Neue Wasserkraftwerke als Mehrzweckanlagen

Mehrzweckprojekte → Ausnutzung von Synergien:

- Erneuerbare Energie
- Hochwasserschutz
- Renaturierung von Gewässern
- Neue Biotop
- Naherholungszonen
- Verbesserung des Abflussregimes



Energiewende Schweiz

Um eine breite Akzeptanz der Projekte zu erhalten, müssen, wenn immer möglich, neue Wasserkraftanlagen als Mehrzweckprojekte ausgelegt werden. Ziel solcher Projekte ist es, eine Win-Win-Situation zu schaffen, welche mehrere Zwecke gleichzeitig befriedigt, wie erneuerbare Stromproduktion, Hochwasserschutz, Flussrenaturierung, Schaffung von neuen Biotopen und Naherholungszonen, sowie Verbesserung des Abflussregimes. Ein solches Projekt, wie auf dem Bild gezeigt, wurde auf der Rhone, im Rahmen einer wissenschaftlichen Fallstudie an der EPFL untersucht. Und dies unter Verwendung der Methode des vernetzten Denkens, um die Komplexität des Projektes zu berücksichtigen.

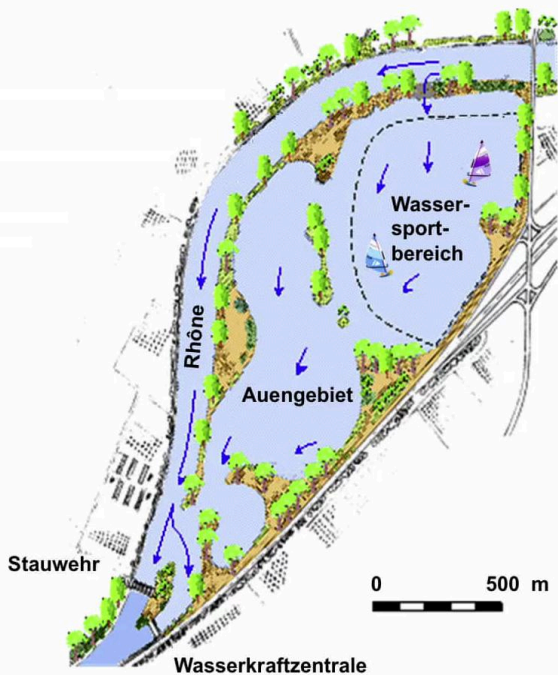
Notes

Summary



9m 21s

Neue Wasserkraftwerke als Mehrzweckanlagen



Denkbares Mehrzweckprojekt auf der Rhone

Oberfläche des Stausees : 1 km²

Stauvolumen: 7,6 Mio. m³

Verminderung Hochwasser: 200 m³/s

Eliminierung von Schwall und Sunk durch 0,7 m Spiegelschwankung im Stausee

Jährliche Stromproduktion: 43 GWh

Schaffung von Biotopen und Naturreservaten

Schaffung von Naherholungszonen

Energiewende Schweiz

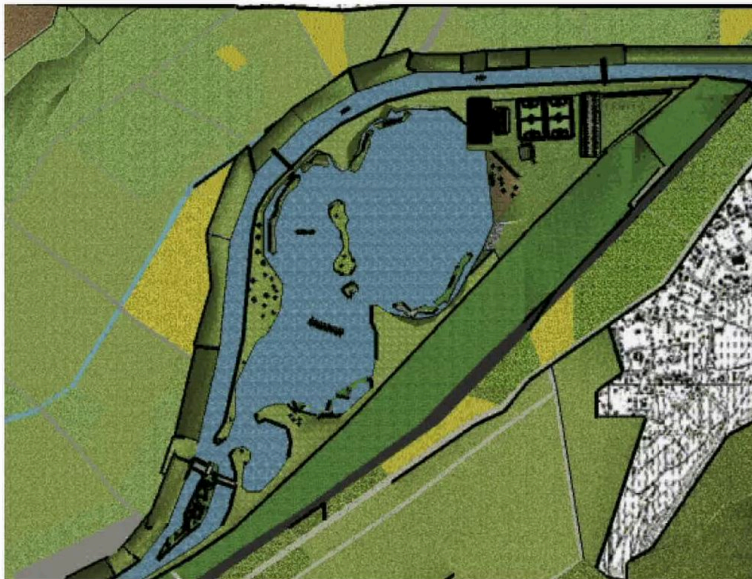
Dieses Mehrzweckprojekt auf der Rhone umfasst ein Stauwehr, welches einen künstlichen See mit einer Oberfläche von einem Quadratkilometer und einem Stauvolumen von 7,6 Millionen Kubikmeter schafft. Die Bewirtschaftung dieses Volumens, erlaubt es während Hochwasser die Hochwasserspitze in der Rhone um 200 Kubikmeter pro Sekunde zu reduzieren, was die Sicherheit in der Rhone-Ebene erheblich verbessern würde. Im Weiteren kann der Schwall und Sunk, welcher durch den Turbinierbetrieb der Speicherkraftwerke entsteht und die aquatischen Lebensgemeinschaften erheblich beeinträchtigt, durch einen leichten Aufstau des künstlichen Sees um 0,7 Meter am Tage, sowie einer langsamen Entleerung in der Nacht eliminiert werden. Die Anordnung dieses künstlichen Sees würde zudem in der Schweiz sehr selten gewordene Biotope und Auenwälder schaffen. Mit den sehr günstigen Windbedingungen im Rhone-Tal könnte dieser künstliche See sicher auch ein Eldorado, beispielsweise für fortgeschrittene Windsurfer werden und natürlich auch ein attraktives Naherholungsgebiet. Schlussendlich könnte das Stauwehr mit einer Wasserkraftwerkszentrale kombiniert werden, welche jährlich regelmäßig mehr als 42 Gigawattstunden Strom produziert. Dies entspricht der Produktion von acht großen Windrädern, welche aber vergleichsweise sehr unregelmäßig Strom liefern.

Notes

Summary



Neue Wasserkraftwerke als Mehrzweckanlagen



Denkbares Mehrzweckprojekt auf der Rhone

Oberfläche des Stausees : 1 km²

Stauvolumen: 7,6 Mio. m³

Verminderung Hochwasser: 200 m³/s

Eliminierung von Schwall und Sunk durch 0,7 m Spiegelschwankung im Stausee

Jährliche Stromproduktion: 43 GWh

Schaffung von Biotopen und Naturreservaten

Schaffung von Naherholungszonen

Energiewende Schweiz

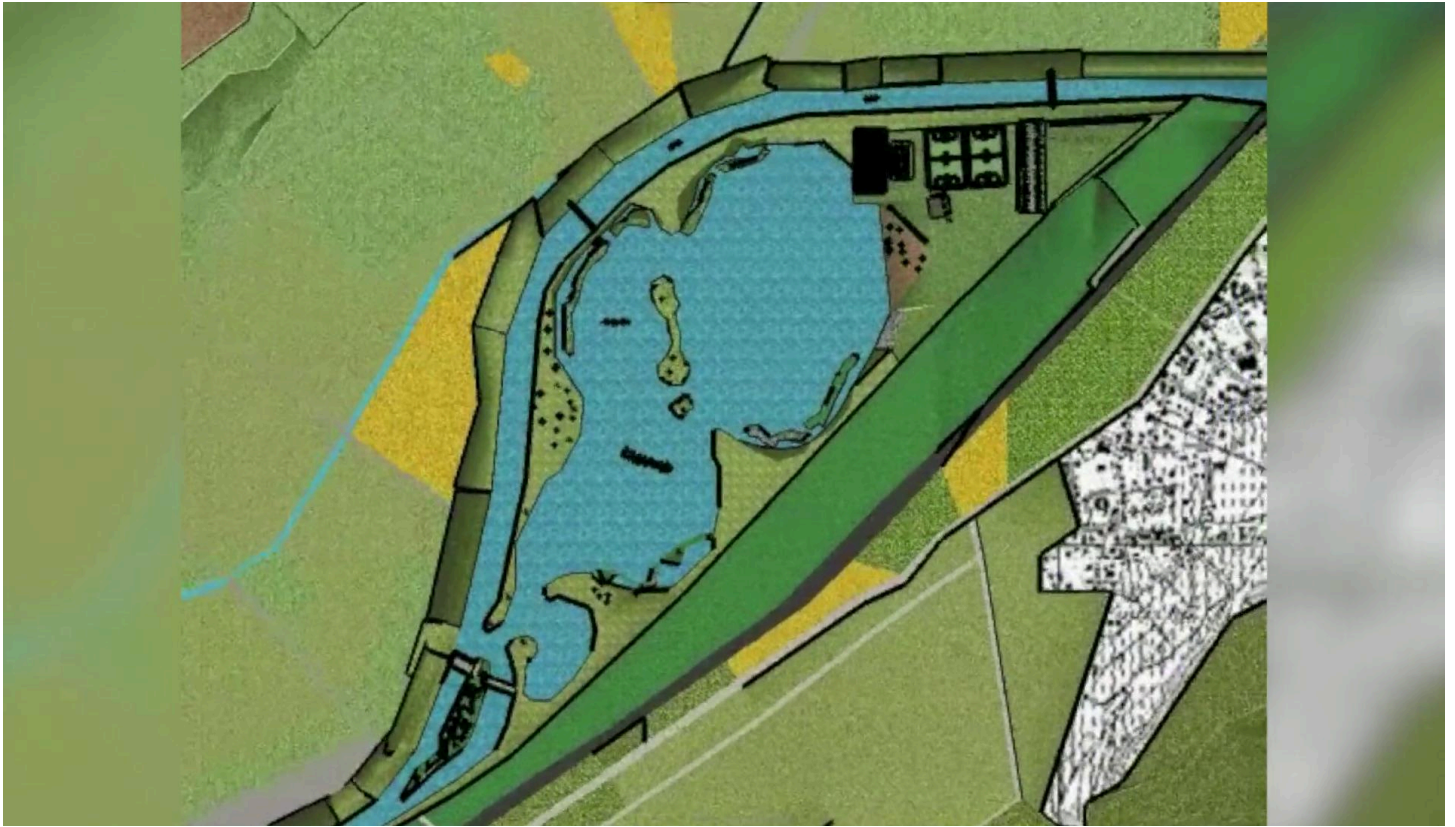
Machen wir einen kurzen Flug über dieses denkbare Mehrzweckprojekt.

Notes

Summary



11m 40s



Wir sehen nun hier das Stauwehr mit der Zentrale rechts. Dann ein Blick auf die Insel, zwischen dem Stauwehr und der Kraftwerkszentrale, wo sich ein Umgehungsgewässer befindet, welches den Fischeaufstieg ermöglicht. Gehen wir in den oberen Teil des künstlichen Stausees. Links die Rhone, hier angeordnet ein Freizeitzentrum, mit Sportanlagen. Restaurant mit Terrasse, mit Badestrand und dann hier der Teil des künstlichen Stausees, welcher für Wassersport-Aktivitäten, verwendet werden kann. Dann der untere Teil reserviert als Naturschutzgebiet und wieder zurück zum Stauwehr und der Wasserkraftanlage.

Notes

Summary

11m 48s



Nutzung der neuen Gletscherseen

Beispiel der Staumauer Trift (ungefähr 180 m Höhe)



Leerer Stausee



Voller Stausee

Energiewende Schweiz

Bevor wir zum Schluss kommen, betrachten wir kurz das mögliche Potential der neuen Gletscherseen, welche nach und nach mit dem Rückzug und Abschmelzen der Gletscher entstehen. Diese neuen Seen können vielerorts sehr gefährlich sein, da sie bei den Endmoränen überlaufen können und sich so sehr schnell unkontrolliert entleeren können. Deshalb müssen diese neuen Gletscherseen mit Staumauern gesichert werden, welche natürlich auch für die Wasserkraftnutzung genutzt werden können. Es ist nicht zu vergessen, dass die heutigen Staumauern sich an Stellen befinden, wo vor etwa 200-300 Jahren noch ein Gletscher vorhanden war. Diese Gletscherseen eröffnen für die Wasserkraft in den nächsten Jahrzehnten neue Möglichkeiten, um nicht zuletzt die Produktionsverluste infolge von Klimawandel zu ersetzen. Ein bereits weit fortgeschrittenes Projekt befindet sich am Fuße des Trift-Gletschers, welcher sich schon stark zurückgezogen hat und einen natürlichen See zurückgelassen hat, wie man auf dieser linken Fotomontage sieht. Mit einer Bogenstaumauer, von etwa 180 Metern Höhe, könnte ein Stausee gebildet werden, welcher 220 Gigawattstunden regulierbare Energie im Winter liefern kann, wenn der Bedarf in der Schweiz und in Europa am größten ist.

Notes

Summary

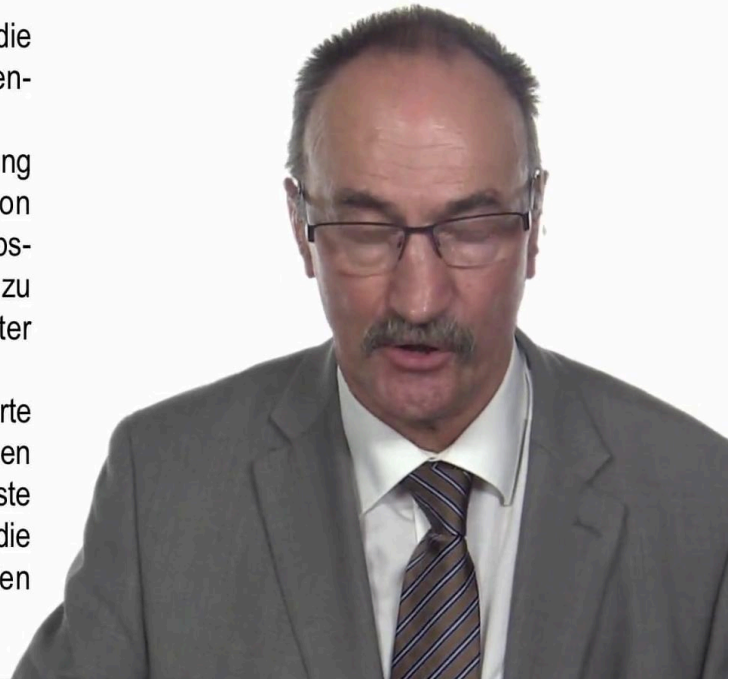


12m 53s

Schlussfolgerung: Zukunft der Wasserkraft Schweiz



- Dank seinen Speicherseen in den Alpen, kann die Schweiz seine Schlüsselstellung als Spitzenstromlieferant in Zukunft noch verstärken
- In diesem Zusammenhang ist die Flexibilisierung der Schweizer Wasserkraftproduktion von grösster Notwendigkeit um die Wettbewerbsfähigkeit auf dem europäischen Strommarkt zu verstärken sowie unseren Bedarf im Winter abzudecken
- Der Rückzug der Gletscher lässt neue Standorte für den Bau von Talsperren und Stauseen entstehen, welche die Stromproduktionsverluste infolge Klimawandel kompensieren sowie die Flexibilität der Speicherkraftwerke erhöhen können.



Als Schlussfolgerung kann gesagt werden, dass die Schweiz dank ihrer Speicherseen in den Alpen seine Schlüsselstellung als Spitzenstromlieferant in Zukunft noch verstärken kann und so die Rolle einer Batterie übernehmen kann. Der Ausbau der Produktion von neuen, erneuerbaren und subventionierten Energien, wie Sonne und Wind, wird die Produktion von mehr regulierbarer und kurzzeitig verfügbarem Strom aus Wasserkraftwerken erfordern. Dies wird nach Aufhebung der starken Subventionen, der genannten erneuerbaren Energien, die wirtschaftliche Attraktivität der Pumpspeicherkraftwerke, unter Vergrößerung der bestehenden Stauseen durch Talsperrenerhöhungen, entscheidend verbessern. Um die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Wasserkraft auf dem europäischen Strommarkt zu verstärken, ist die Flexibilisierung der Produktion von grösster Notwendigkeit und dies durch Erhöhung der installierten Leistung in den Speicherkraftwerken, sowie der Erhöhung der Talsperren und somit der Speicherkapazität. Der Rückzug der Gletscher lässt neue Standorte für den Bau von Talsperren und Stauseen entstehen, welche die Stromproduktionsverluste, infolge von Klimawandel kompensieren, sowie auch die Flexibilität unserer Speicherkraftwerke erhöhen können.

Notes

Summary

14m 25s

