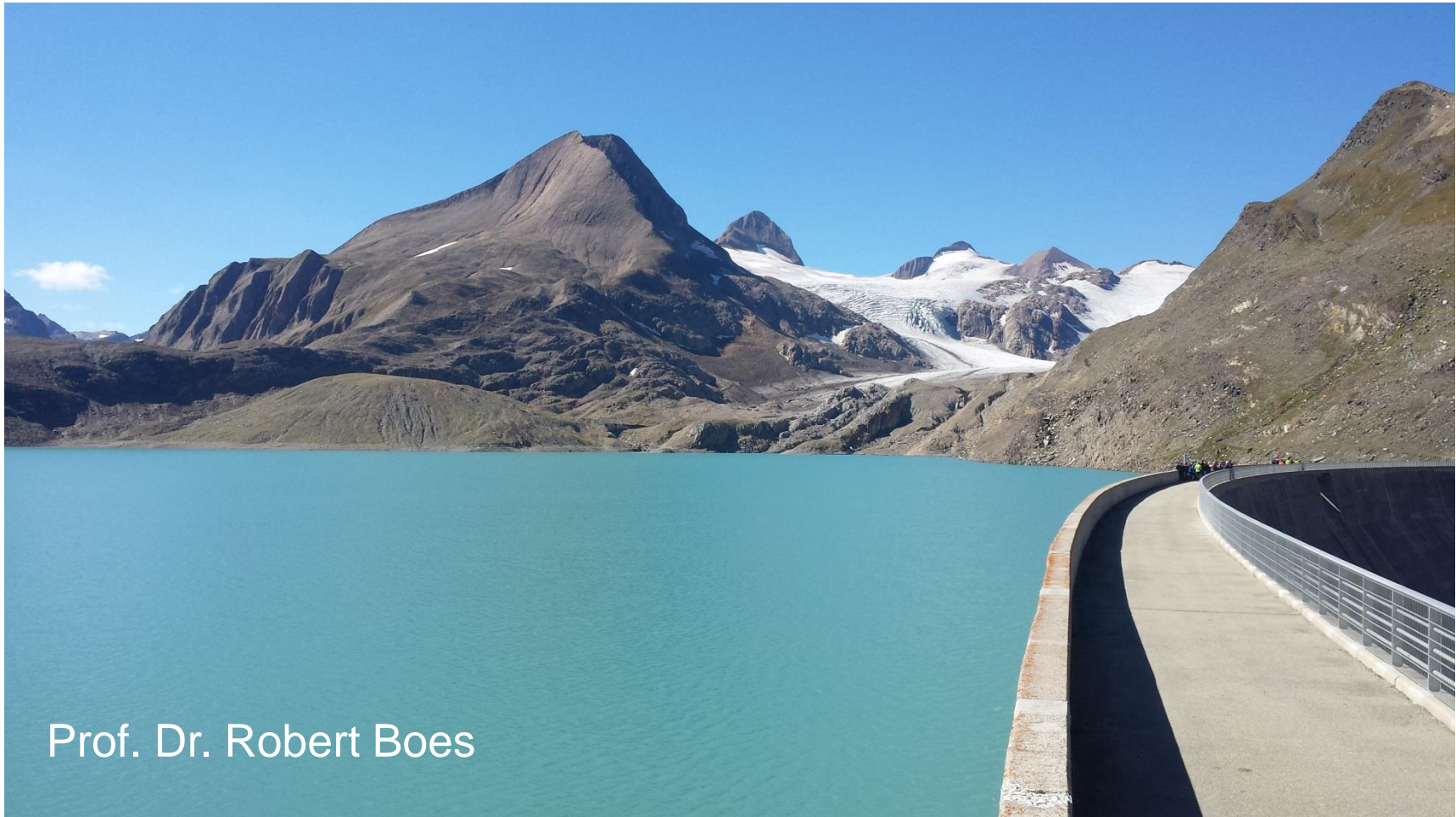


# Weissbuch für die Erstellung neuer, grosser Wasserkraftanlagen

---



Prof. Dr. Robert Boes



Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie

SCCER-SoE Jahreskonferenz, Sion, 12.09.2016

**ETH** zürich

# Inhalt

Weissbuch für die Erstellung neuer, grosser Wasserkraftanlagen

**Weissbuch** = Sammlung mit Vorschlägen zum Vorgehen in einem bestimmten Bereich

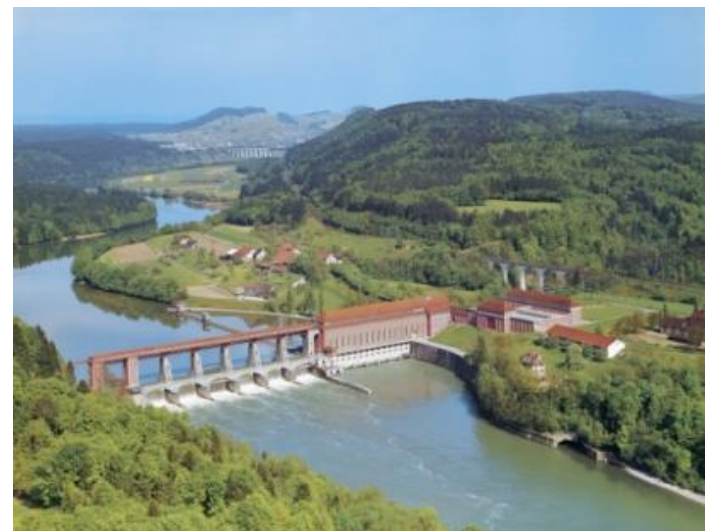
- **Einleitung**
- Rolle der Wasserkraft in der **Energiestrategie 2050**
- **Potential (Gross-)Wasserkraft**
  - Optimierung / Ausbau von Niederdruckanlagen
  - Ausbau bestehender Wasserkraftspeicher
  - Neubau periglaziale Wasserkraft
  - Sonstiger Neubau
- **Schlussfolgerungen**



# Stellenwert der Grosswasserkraft

- 100 Jahre Aufschwung und Konsolidierung zum Rückgrat der CH-Stromversorgung

- Rasanter Zubau Wasserkraft v.a. 1950-1970 aufgrund starkem Anstieg der Nachfrage
- Wasserkraft zeitweise 100%, heute noch 56% der Produktion; ~ 90/10-Regel zum Kraftwerkspark:
  - **90% der Produktion stammen von 14% der Anlagen ( $P > 10$  MW)**
  - 98% der Produktion stammen von 30% der Anlagen ( $P > 1$  MW)
  - 0.6% der Produktion stammen von 53% der Anlagen ( $P < 0.3$  MW)
- Volkswirtschaftliche Bedeutung: Wertschöpfung ~ CHF 2.4 Mrd. pro Jahr und 5'000 Vollzeitstellen



# Erwartetes Ausbaupotenzial Wasserkraft

Energiestrategie 2050: Schätzungen BFE (2012)

in GWh/a	Heutige Nutzungsbedingungen	Optimierte Nutzungsbedingungen
Neubauten Grosswasserkraft	770	1'430
Kleinwasserkraft	1'290	1'600
Aus- und Umbauten, Erweiterungen Grosswasserkraft	870	1'530
Auswirkungen GSchG	-1'400	-1'400
<b>Total Wasserkraftpotenzial</b>	<b>1'530</b>	<b>3'160</b>
<b>Total Grosswasserkraft *</b>	<b>380</b>	<b>1'700</b>

\* unter der Annahme, dass Auswirkungen GSchG (Restwasserabgaben) zu 90 % auf Gross- und zu 10% auf Kleinwasserkraftanlagen verteilt sind, entsprechend dem heutigen Produktionsanteil

# Vergleich Ausbaupotenzialschätzungen

- **Regelarbeitsvermögen (RAV) 2015:** 36'175 GWh (100%)
- **Netto-Zu-/Ausbau bis 2050:**

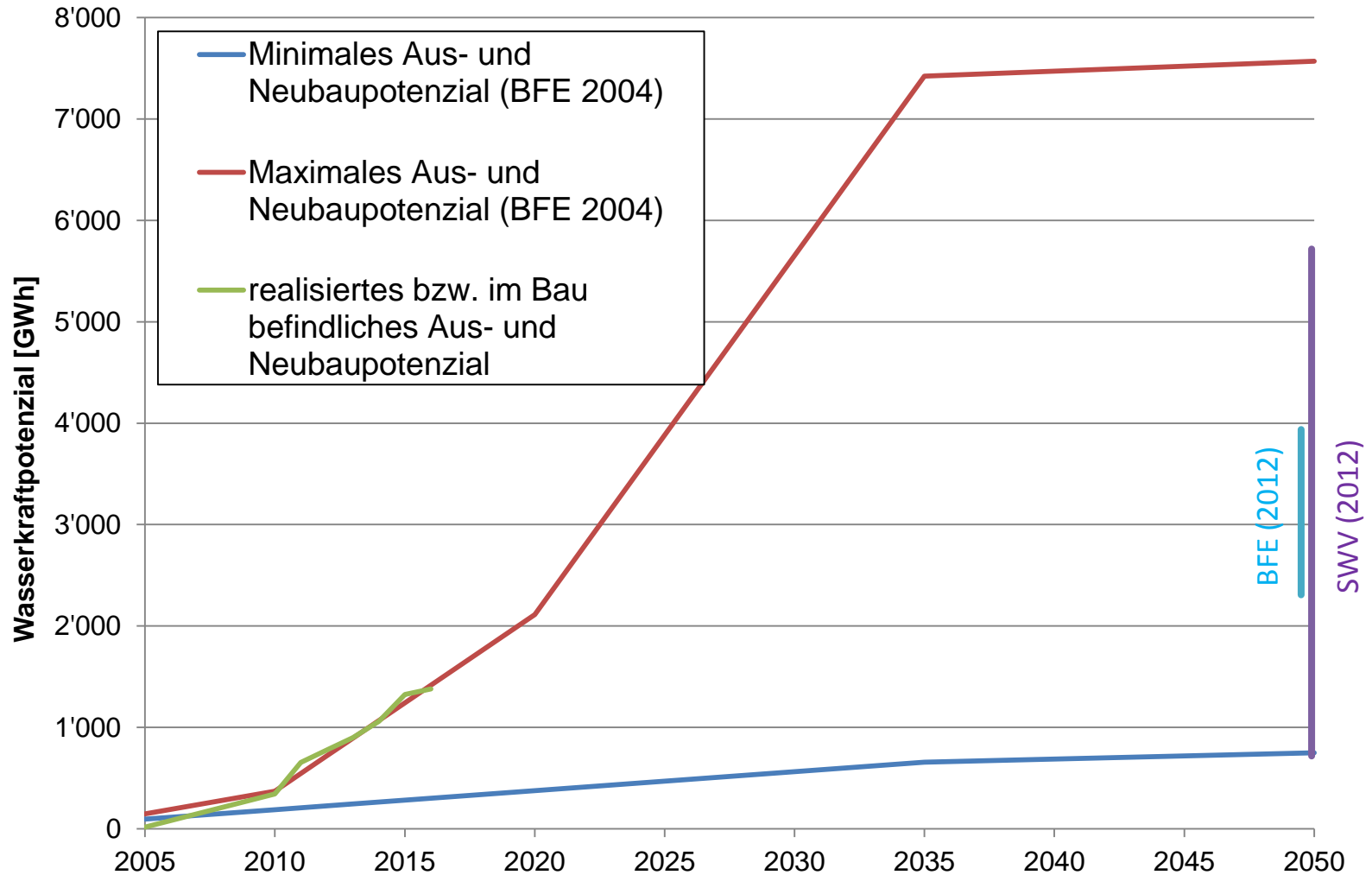
## **BFE (2012)**

- heutige Nutzungsbedingungen +1'530 GWh (+4.2%)
- optimierte Nutzungsbedingungen +3'160 GWh (+8.7%)

## **SWV (2012)**

- heutige Rahmenbedingungen ±0 GWh (±0%)
- optimierte Rahmenbedingungen +4'000÷5'000 GWh (+11÷14%)

# Vergleich Ausbaupotenzialschätzungen



Quelle: adaptiert nach Boes (2011)



# Wasserkraftpotential in der Schweiz

## Neubau/Erweiterungen grosser Kraftwerke

Realisierungswahrscheinlichkeit gemäss BFE

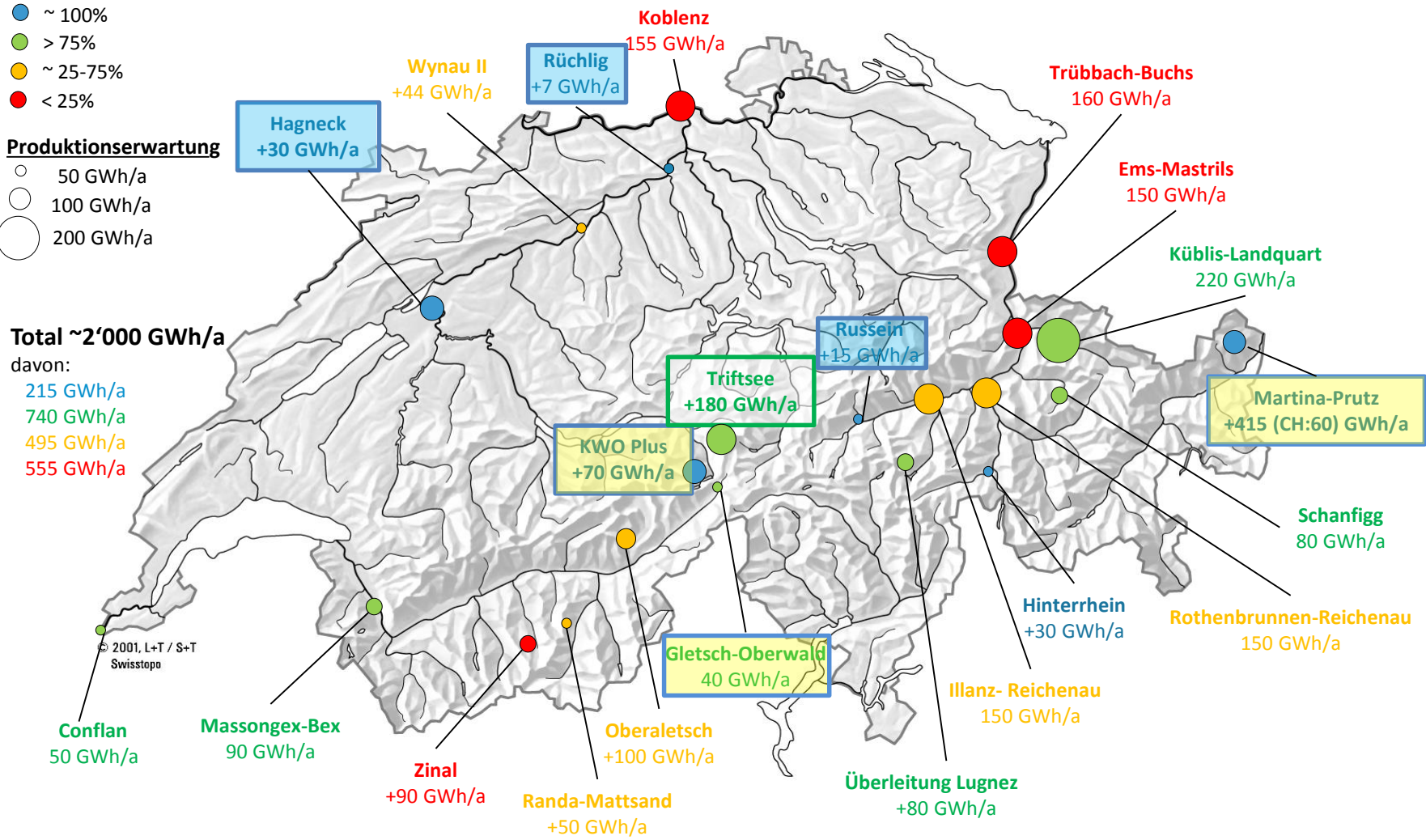
- ~ 100%
- > 75%
- ~ 25-75%
- < 25%

Produktionserwartung

- 50 GWh/a
- 100 GWh/a
- 200 GWh/a

Total ~2'000 GWh/a

- davon:
- 215 GWh/a
  - 740 GWh/a
  - 495 GWh/a
  - 555 GWh/a



© 2001, L+T / S+T  
Swisstopo

Karte: Darstellung nach SWV; Datenquelle: BFE (2012), Ergänzungen SWV (2013), VAW (2014+2016)

# Anlagenoptimierungen / Ausbau Niederdruckanlagen

- Bsp. KW Rheinfelden: alt 185 GWh, neu 600 GWh (+224 %)





# Anlagenoptimierungen / Ausbau Niederdruckanlagen

- **Verbleibendes Potenzial** zur Steigerung des Regelarbeitsvermögens (RAV) **bedeutender bestehender grosser Niederdruckkraftwerke** (bei Grenzkraftwerken nur CH-Anteil berücksichtigt)

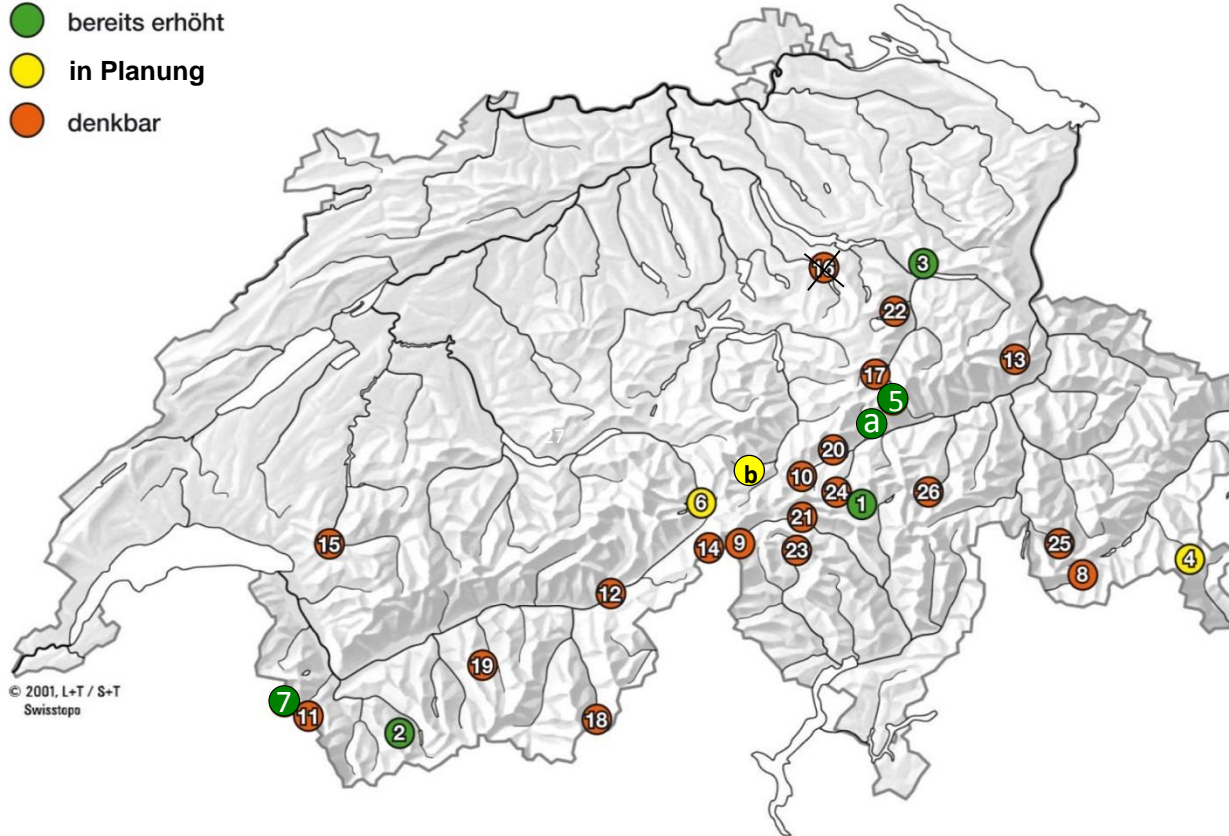
Fluss bzw. Kraftwerke (KW)	RAV 2011	RAV der seit 1999 erneuerten KW	Verbleibendes RAV für Ausbauten	Zunahme um ... %	Verbleibendes Potenzial
	[GWh]				[GWh]
Rhein	3190	1280	1910	19 <sup>1)</sup>	363
Aare	2550	1120	1430	21 <sup>2)</sup>	300
Bremgarten / Reuss	106	-	106	8 <sup>3)</sup>	8
Rhone <sup>4)</sup>	648 <sup>5)</sup>	628	20	8 <sup>3)</sup>	2
<b>Total</b>					<b>rund 670</b>

- 1) Mittelwert der seit 1999 am Rhein umgebauten Anlagen (ohne KW Rheinfelden, da dies quasi einem Neubau entspricht)
- 2) Mittelwert der seit 1999 an der Aare umgebauten Anlagen (ohne KW Ruppoldingen, da dies quasi einem Neubau entspricht)
- 3) Mittelwert der am KW Chancy-Pougny und KW Verbois (Rhone) seit 1999 durch Umbauten erzielten Produktionssteigerung
- 4) KW Chancy-Pougny, KW Verbois und KW Seujet
- 5) Bezugsjahr 2013

# Ausbau Wasserkraftspeicher durch Sperrenerhöhungen

Erhöhung vorhandener Talsperren um  $\leq 10\%$

- bereits erhöht
- in Planung
- denkbar



© 2001, L+T / S+T  
Swisstopo

## Bereits erhöht bzw. Neubau:

- 1 Luzzone (17 m)
- 2 Mauvoisin (13.5 m)
- 3 Muslen (5 m)
- 5 Muttsee (neu, 35 m)
- 7 Vieux-Emosson (20 m)
- a Barcuns (5 m)

## In Planung:

- 4 Lago Bianco N/S
- 6 Spitalamm/Seeuferegg (101 hm<sup>3</sup>)
- 6 Göscheneralp (76 hm<sup>3</sup>)

## Denkbar:

- 8 Albigna (70 hm<sup>3</sup>)
- 9 Cavagnoli (29 hm<sup>3</sup>)
- 10 Curnera (40.8 hm<sup>3</sup>)
- 11 Emosson (227 hm<sup>3</sup>)
- 12 Gebidem (9.2 hm<sup>3</sup>)
- 13 Gigerwald (33.4 hm<sup>3</sup>)
- 14 Gries (18 hm<sup>3</sup>)
- 15 Hongrin (52 hm<sup>3</sup>)
- 16 ~~In den Schlagen/  
Hünernermattdamm~~
- 17 Limmern (92 hm<sup>3</sup>)
- 18 Mattmark (100 hm<sup>3</sup>)
- 19 Moiry (77 hm<sup>3</sup>)
- 20 Nalps (44.5 hm<sup>3</sup>)
- 21 Piora (47.5 hm<sup>3</sup>)
- 22 Rhodannenbergl (39.8 hm<sup>3</sup>)
- 23 Sambucco (64 Mio. m<sup>3</sup>)
- 24 Santa Maria (67 hm<sup>3</sup>)
- 25 Valle di Lei (197 hm<sup>3</sup>)
- 26 Zervreila (100 hm<sup>3</sup>)

**Aktuelle Preisdifferenz Sommer-Winter führt nicht zu ausreichender Wirtschaftlichkeit**

Karte: Darstellung SWV; Quellen: BFE (2004), EPFL (2012), VAW (2016)

# Ausbau Wasserkraftspeicher durch Sperrenerhöhungen

Erhöhung vorhandener Talsperren um  $\leq 10\%$

**Erhöhung von** rund 20 bestehenden **Talsperren** um ca. 10% brächte **zusätzlich** rund

- +370 hm<sup>3</sup> Stauraumvolumen (+25%)
- **+2'000 GWh Energie im Winterhalbjahr**

## **Stromdefizit im Winterhalbjahr (saisonaler Effekt)**

- Deckung der Lücke durch
    - Importe,
    - neue Gaskombi-Kraftwerke oder
    - **zusätzliche saisonale Speicher**
- Im **Bestszenario** («Neue Energiepolitik») müssen **rund 3'000 GWh** bereitgestellt werden



# Ausbau Wasserkraftspeicher durch Sperrenerhöhungen

Widerstände am Bsp. Grimsensee: Moorschutz

- Erhöhung der Staumauern um 23 m
  - Vergrößerung der Speicherkapazität von heute rund 100 auf 170 hm<sup>3</sup>
  - Energieinhalt: **zusätzlich 240 GWh**, total neu: 510 GWh
  - Beitrag zum **Hochwasserschutz** entlang der Aare
  - **derzeit vor Bundesgericht**



Quellen: KWO (2012), Stettler (2014)



# Neubau periglaziale Wasserkraft

## Neue Speicherseen infolge Gletscherrückgang



Rhonegletscher ca. 1900



Rhonegletscher 2050



Rhonegletscher 2007



# Neubau periglaziale Wasserkraft

Neue Speicherseen infolge Gletscherrückgang

## Rückzug Triftgletscher 1948 bis 2006



1948

2002

2006

Quelle: Internet



# Neubau periglaziale Wasserkraft

Neue Speicherseen: Bsp. Triftgletscher

- Triftspeicher zur Erweiterung des Kraftwerksystems der KWO
- 85 hm<sup>3</sup> resp. 215 GWh Speichervolumen
- 180 GWh zusätzliche hochwertige Energieproduktion durch höhergelegte Fassungen



Situation heute



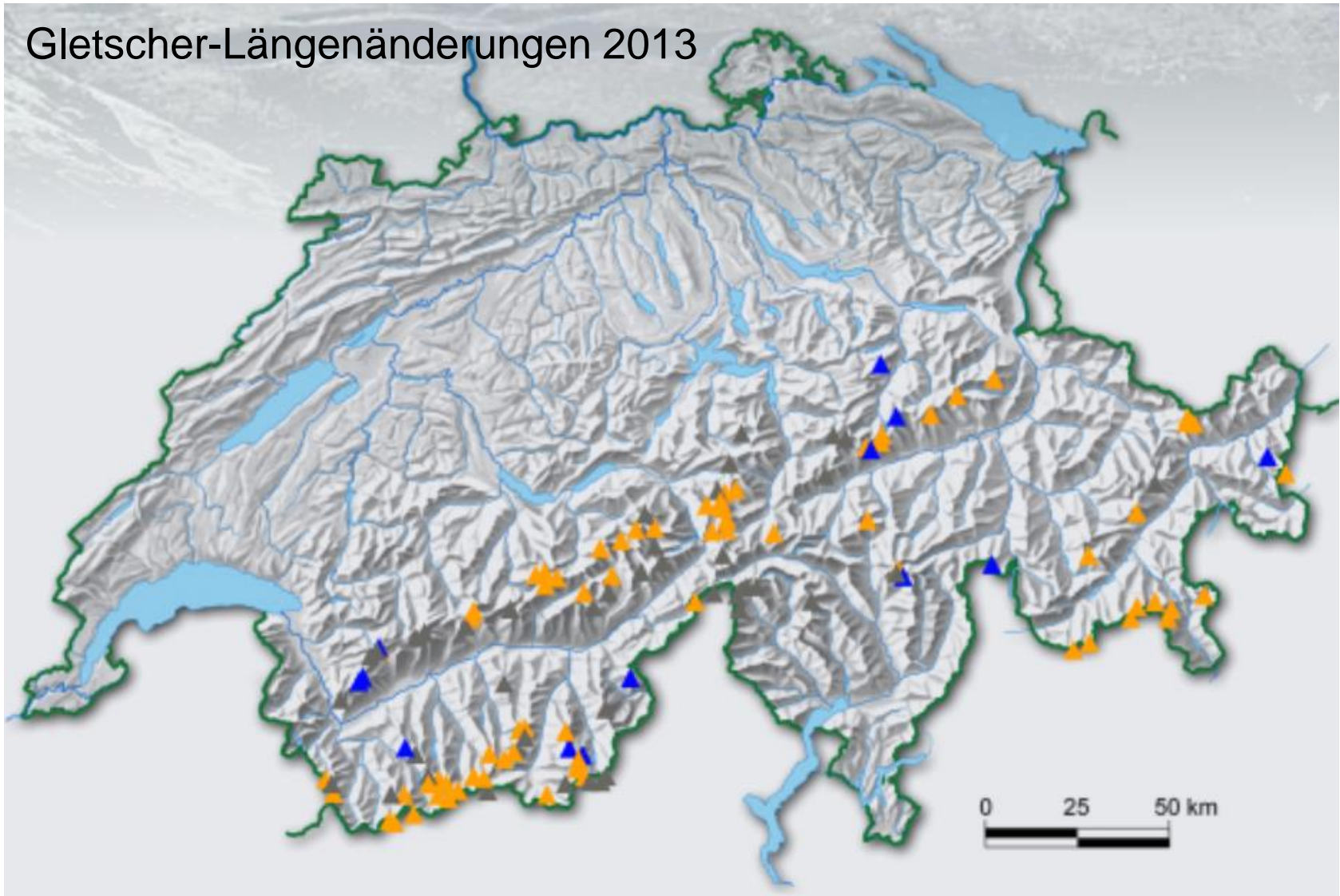
Zukunft?

Quelle: KWO (2016)

# Neubau periglaziale Wasserkraft

Neue Speicherseen: Gesamtbetrachtung Wasserkraftpotential

Gletscher-Längenänderungen 2013



▲ vorstossend ▲ schwindend

Quelle: <http://glaciology.ethz.ch/messnetz/?locale=de>



# Neubau periglaziale Wasserkraft

Neue Speicherseen: Bsp. Wallis

- Betrachtung von 53 Gletscher
- Berücksichtigung der bestehenden Anlagen

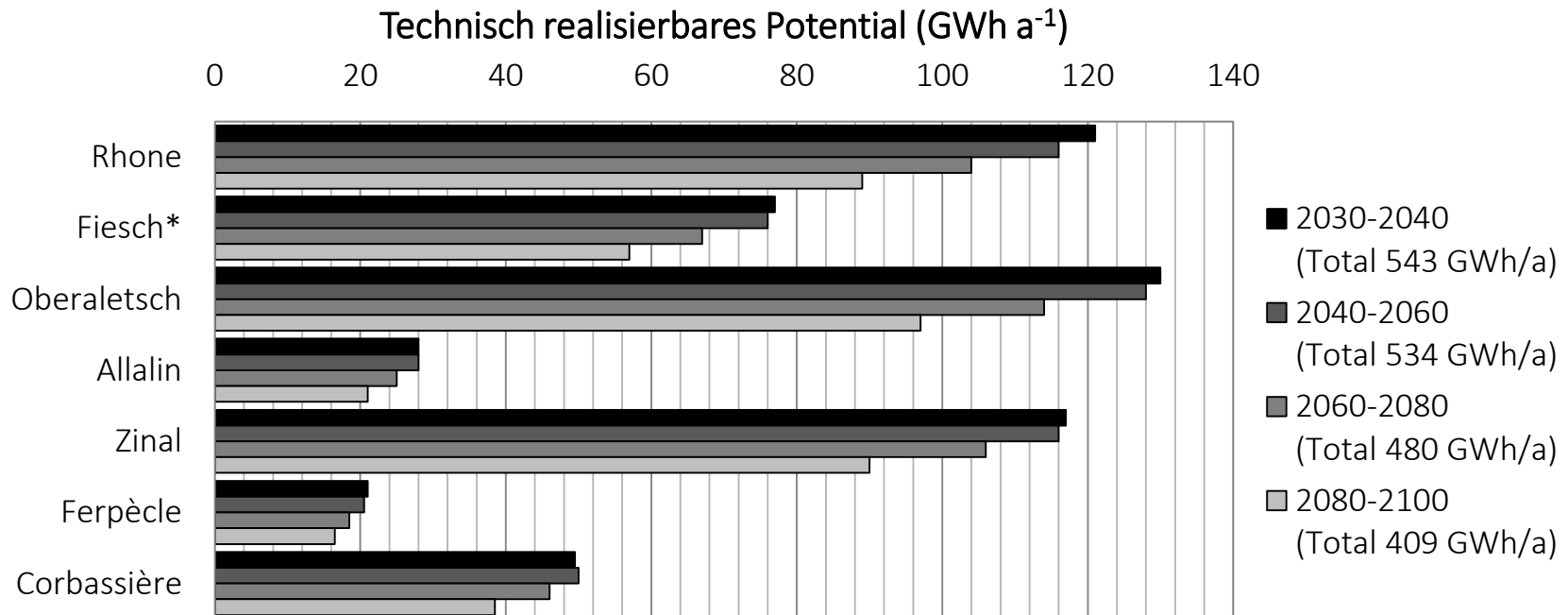


Quelle: Fallegger, Masterarbeit ETH Zürich (2014)

# Neubau periglaziale Wasserkraft

Neue Speicherkraftwerke: *Technisch realisierbares Potential Wallis*

- Berücksichtigung der Abflussentwicklung bis 2100
- Rückgang des Potenzials von 2030 bis 2100 um ca. 25%
- Flexibilität von bestehenden Anlagen durch neue Stufen erhöht
- ***technisch realisierbares Potential: ca. 0.4÷0.5 TWh/a (7 Anlagen)***



Quelle: Fallegger, Masterarbeit ETH Zürich (2014)

# Neubau periglaziale Wasserkraft

## Ausgewählte Speicherkraftwerke ohne Pumpbetrieb

Gletscher	RAV [GWh/a]		Speicher- volumen [hm <sup>3</sup> ]	Sperren- höhe [m]	Speicher- inhalt ° [GWh]	Bemer- kungen
	2050	2090				
Rhone (VS)	116	89	28	40	45	1)
Fiescher (VS)	+76	+57	44	80-100	55	2)
Oberaletsch (VS)	128	97	55	40	75	3)
Allalin (VS)	28	21	5	15	5	4)
Zinal (VS)	116	90	13	80	10	5)
Ferpècle (VS)	+21	+17	2	20	1	6), 7)
Corbassière (VS)	51	39	14	30	15	8)
Grindelwald (BE)	123 <sup>9)</sup>	90 <sup>10)</sup>	72	150	80	11)
Hüfifirn (UR)	+220 <sup>9)</sup>	170	56	225	155	12)
Trift (BE)	+180	+153	85	167	215	13)
<b>Total</b>	<b>~1060</b>	<b>~820</b>	<b>374</b>	<b>-</b>	<b>~650 (~ +7%)</b>	

° i.d.R. auf 5 GWh gerundet

- 1) Mit Beileitung vom Muttgletscher
- 2) Ergänzt bestehendes Laufkraftwerk
- 3) Auch gut als PSW mit Gebidem geeignet
- 4) Auch gut als PSW mit Mattmark geeignet
- 5) Mit Beileitung vom Weisshorn- und Mominggletscher
- 6) Mit Beileitung vom Mont Miné-Gletscher

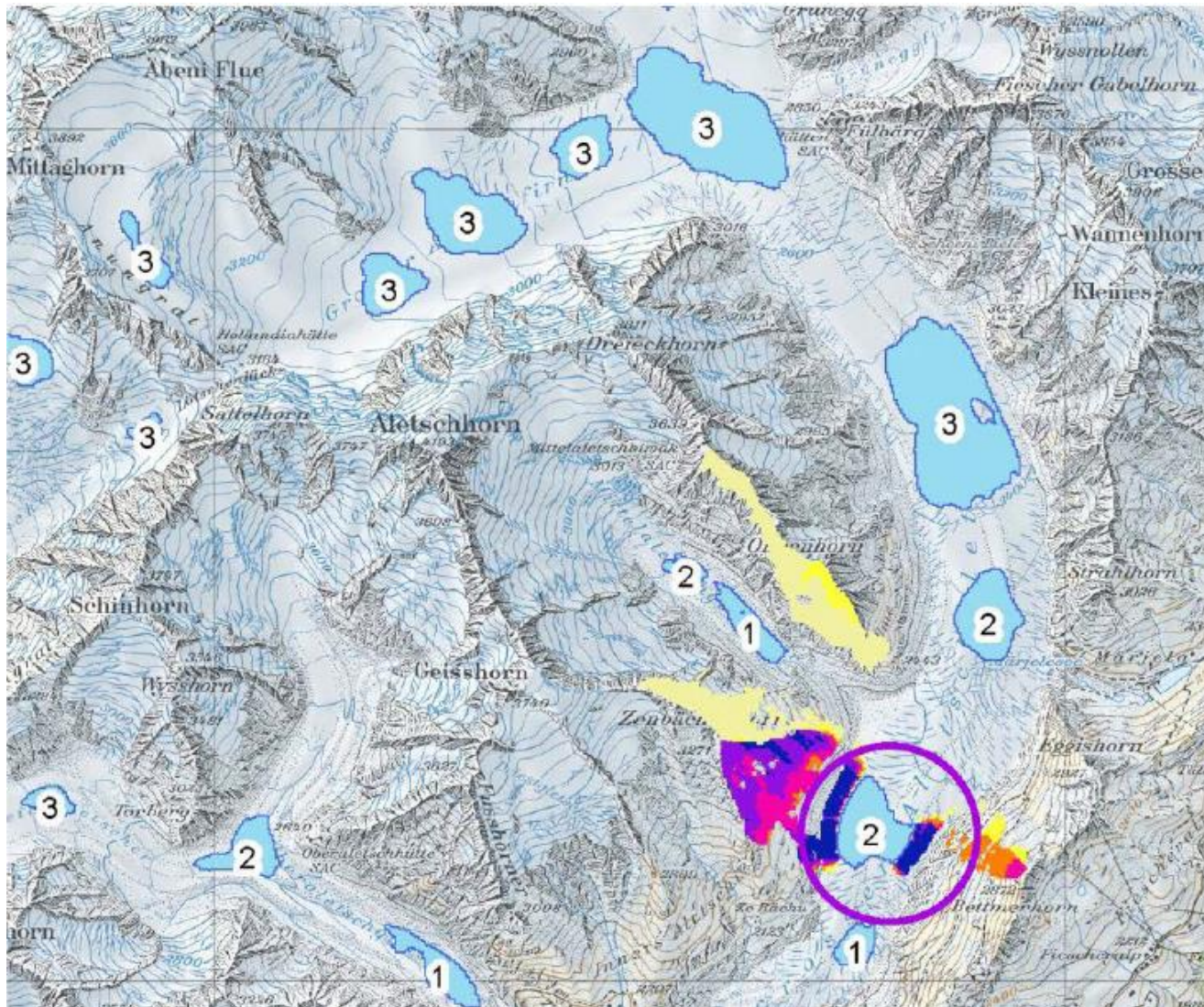
- 7) ca. 13% des Abflussvolumens werden heute durch die Grande Dixence SA genutzt
- 8) Auch gut als PSW mit Mauvoisin geeignet
- 9) In 2040
- 10) In 2100
- 11) Oberer und unterer Grindelwaldgletscher
- 12) Mit Beileitung vom Brunnifirn
- 13) Mit Beileitung Stein- und Wendengletscher

Quellen: nach Fallegger bzw. Iten, Masterarbeiten ETH Zürich (2014) bzw. KWO (2016)



# Neubau periglaziale Wasserkraft

Naturgefahren durch neue glaziale Seen: Bsp. Aletschgletscher



Quelle: NELAK (2013)



# Neubau periglaziale Wasserkraft

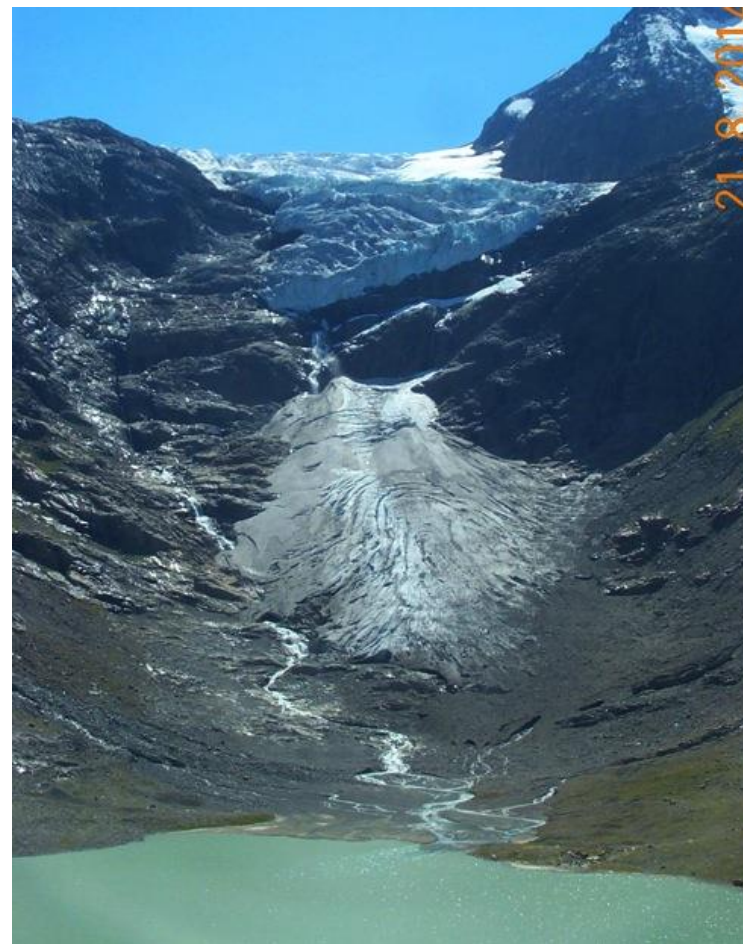
Neue Speicherseen: Mehrzweckanlagen → u.a. Naturgefahrenprävention

- Hanginstabilitäten
- Lawinen
- Felsabbrüche
- Eisabbrüche
- Impulswellen



Gletschersee Grindelwald

Triftgletscher



**Talsperre kann Speicher für die Wasserkraft und Flutwellenschutz optimal kombinieren**

# Gesamtübersicht Potenzial Grosswasserkraft

[GWh]	Jahres-RAV		Speicher-RAV	Bemerkungen
	2050	2090		
Optimierung / Ausbau von Niederdruckanlagen	+670	+690	-	Annahme: Erhöhung um 3% wegen mehr Abfluss im Winter
Ausbau Wasserkraftspeicher durch Sperrenerhöhungen	-	-	+2'000	RAV bleibt ohne KW-Ausbau quasi unverändert
Neubau periglaziale Wasserkraft	+1060	+820	+650	-
Minderproduktion aus Restwasserbestimmungen	- 1300	-1300	-	Hier unter Annahme günstiger Randbedingungen (Mittel aus BFE, 2012 und SWV, 2012)
Sonstige Grosskraftwerke (Neu-/Ausbau)	+720	+720	-	nach BFE (2012) und SWV (2013) mit P>75%
<b>Total</b>	<b>+1'150 (+3.2 %)</b>	<b>+930 (+2.6 %)</b>	<b>+2'650 (~ +30 %)</b>	Nur bei günstigen Bedingungen (Bezugsjahr 2015)
<b>BFE (2012)</b>				
heutige Bedingungen	<b>+380</b>	-	-	-
Optimierte Bedingungen	<b>+1'700</b>			

# Schlussfolgerungen

- **Elektrizitätserzeugung aus Wasserkraft** soll im Rahmen der Energiestrategie 2050 gesteigert werden
- Schätzungen des **verbleibenden Potenzials** variieren **zwischen  $\pm 0$  und +5'000 GWh/a**, je nach Rahmenbedingungen
- **Grosse Unsicherheiten** bzgl. Produktionsminderung **infolge Restwassererhöhungen**
- **Reine Ausbauten** und Optimierungen mit **beschränktem Potenzial**
- **Neubauten im periglazialen Hochgebirge** mit **grösstem Potenzial**
- **Erhöhungen bestehender Speicher plus neue Speicher**: Steigerung des Speichervolumens (Energieäquivalent) um  $\sim 30\%$   $\rightarrow$  deckt grossteils benötigte Winterenergie für Szenario «neue Energiepolitik»





**Besten Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**



Versuchsanstalt für Wasserbau,  
Hydrologie und Glaziologie

[boes@vaw.baug.ethz.ch](mailto:boes@vaw.baug.ethz.ch)

**ETH** zürich