

Wasserkraftpotential in den (vergletscherten) Schweizer Alpen

Robert Boes, ETH Zürich

Annual Conference, 13.09.2018

In cooperation with the CTI



Energy

Swiss Competence Centers for Energy Research



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

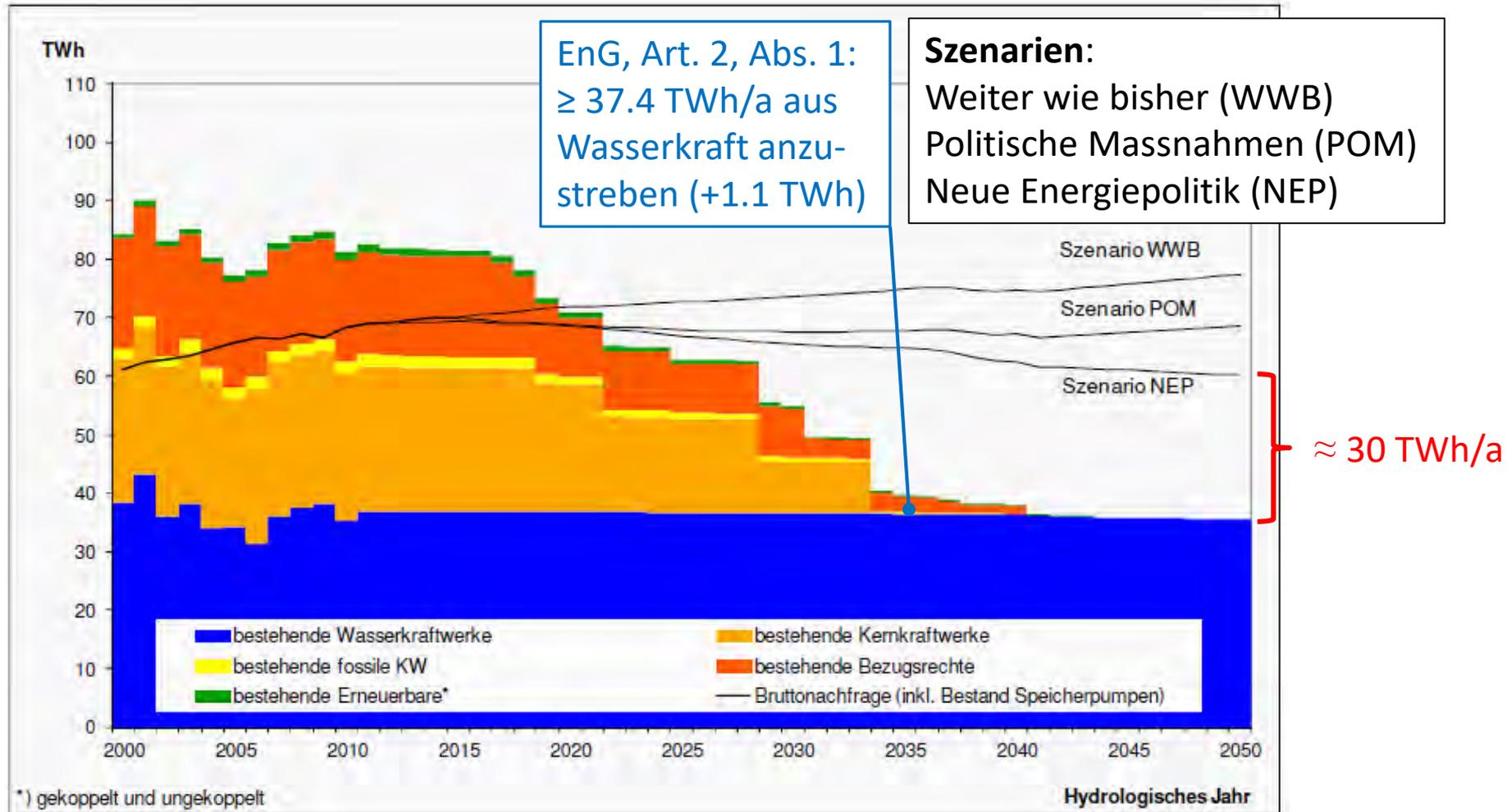
Swiss Confederation

Commission for Technology and Innovation CTI

Inhalt

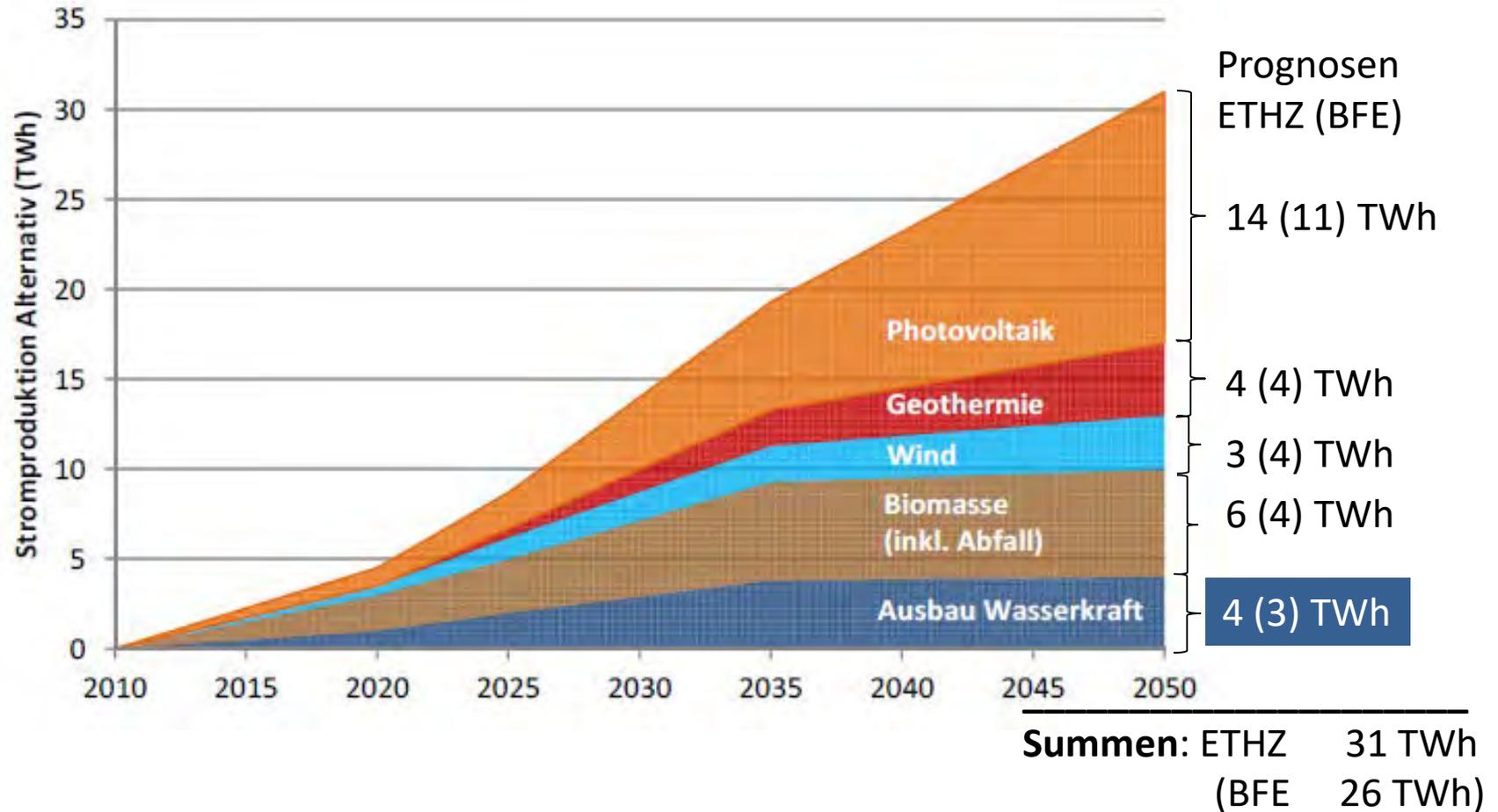
- Einleitung
 - Energiestrategie 2050
 - Herausforderungen und Chancen betreffend Wasserkraft
- Wasserkraftpotential im vergletscherten Umfeld
- Produktionsverlagerung in den Winter mit Talsperreenerhöhungen
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Elektrizitätserzeugung und -nachfrage



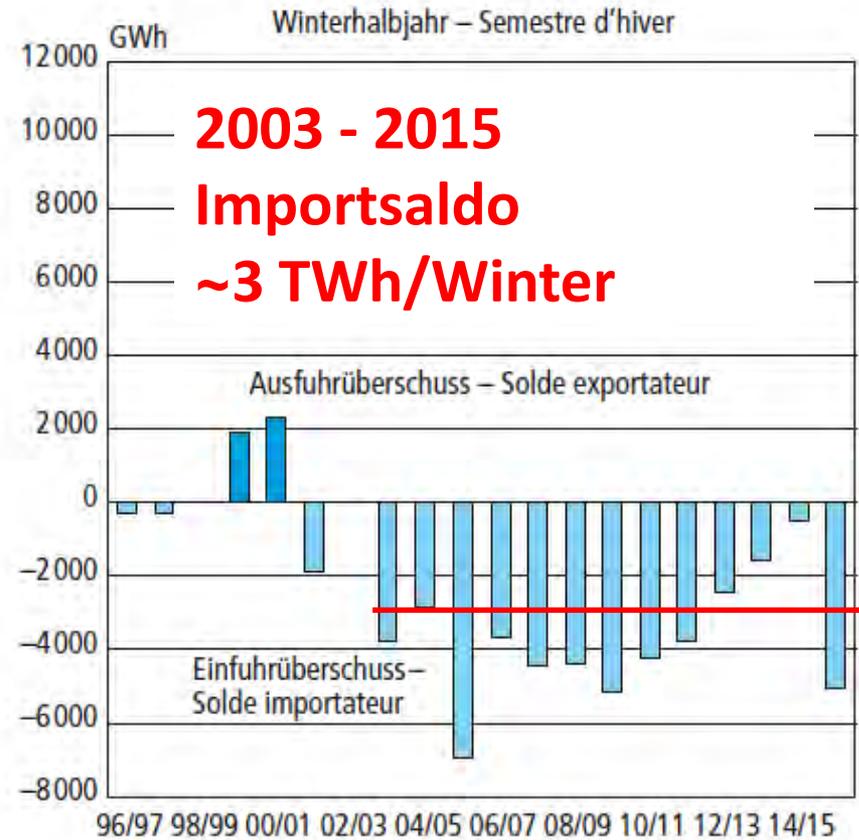
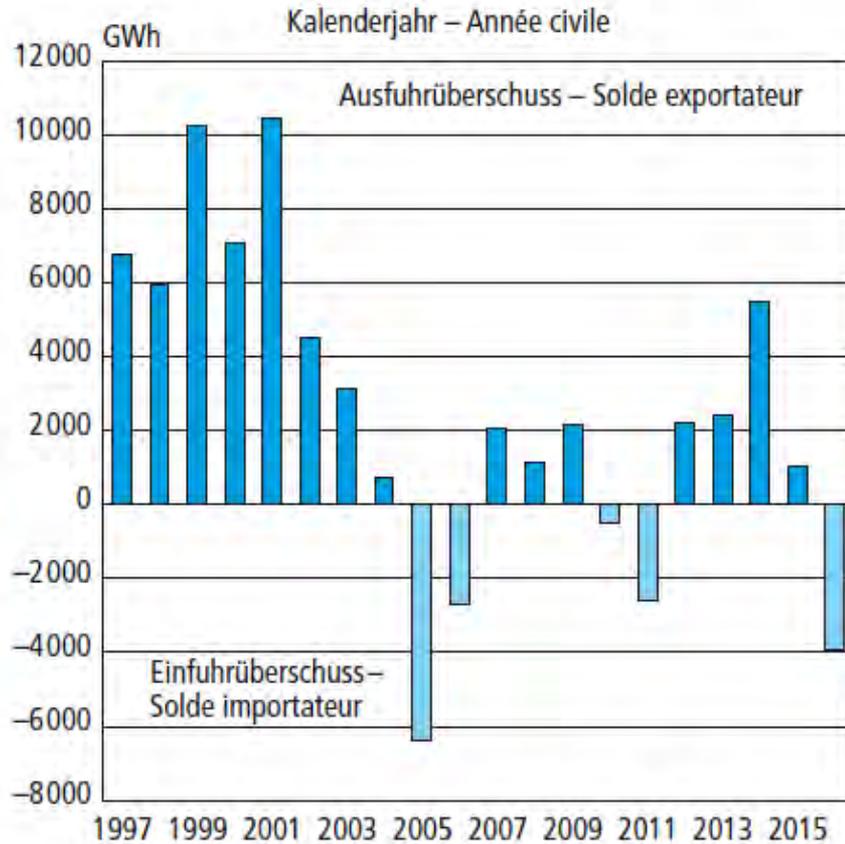
Quelle: Prognos (2012)

Ausbau erneuerbarer Energien



Quellen: ETH Zürich (2011),
Werte in Piot (2014)

Elektrizitätsexporte und -importe

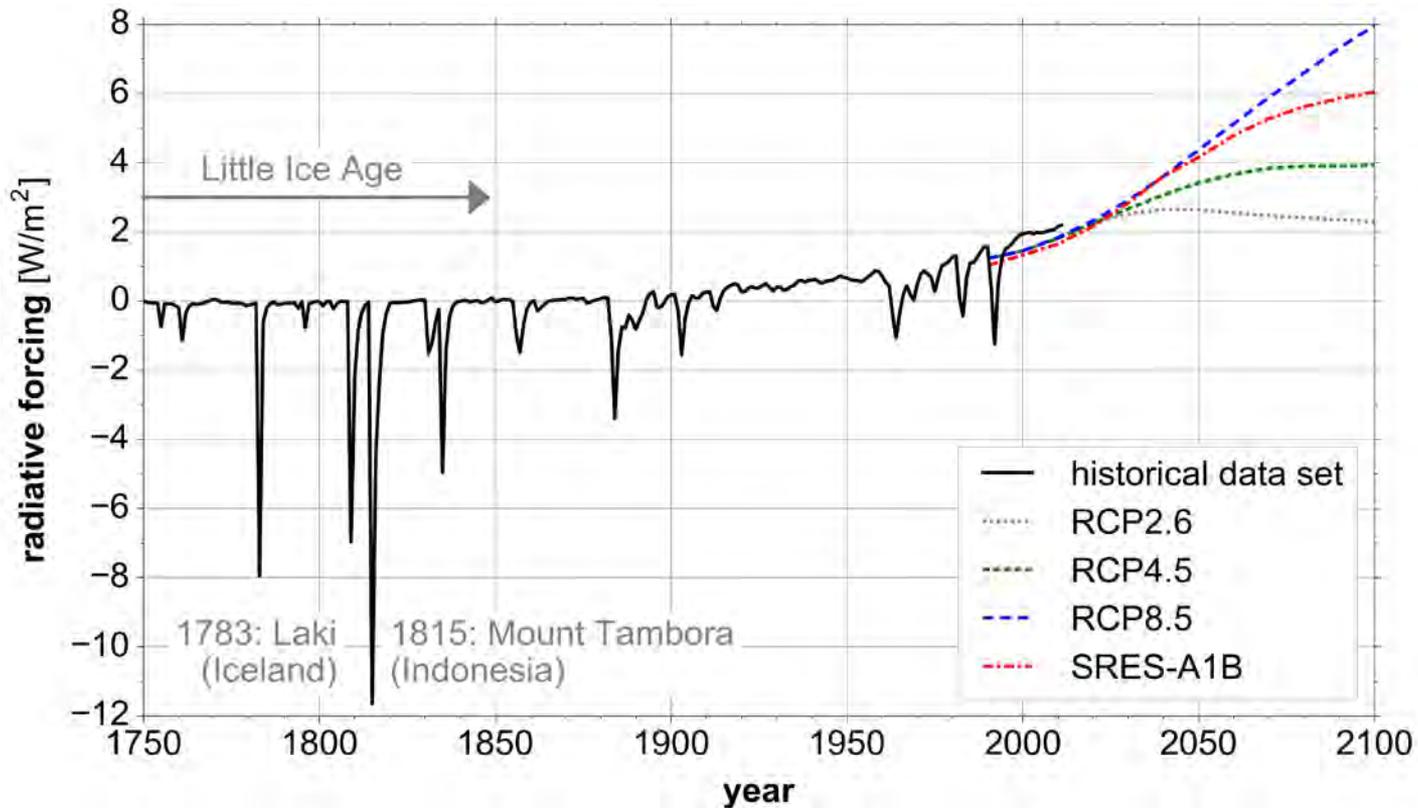


Quelle: BFE (2016) Schweizerische Elektrizitätsstatistik

Importsaldo zukünftig 3 - 10 TWh/Winter

Piot (2014)

Klimaerwärmung: Entwicklung



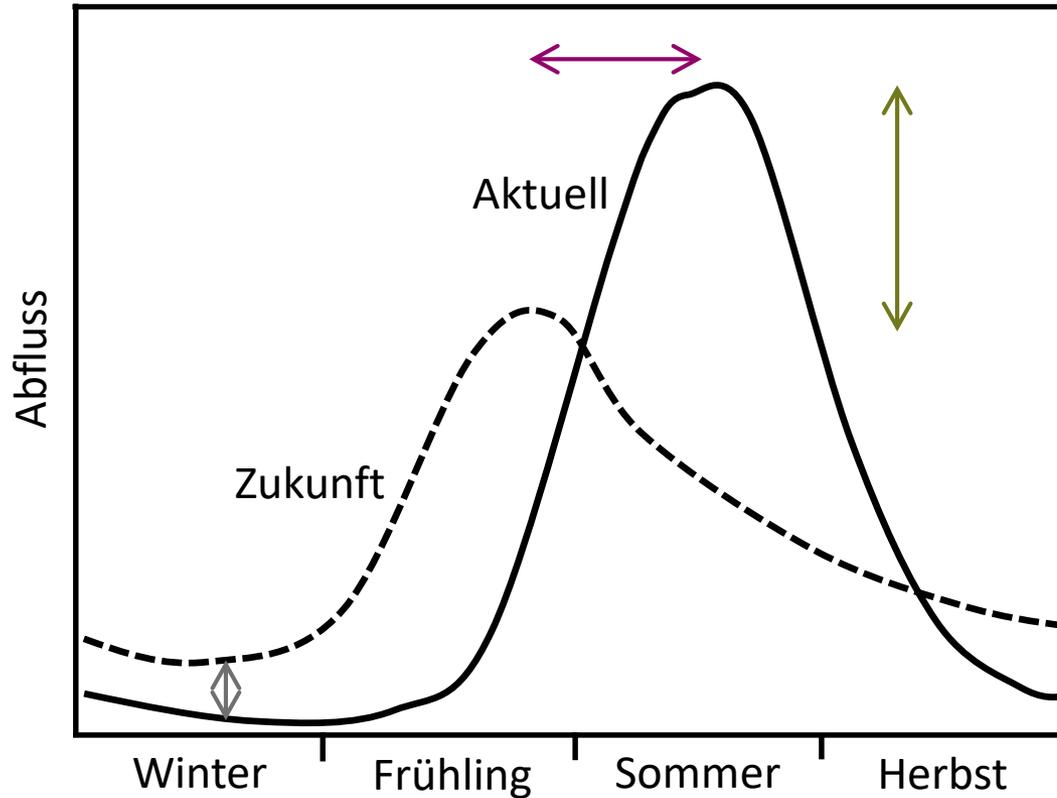
Representative
Concentration
Pathway

Special
Report on
Emission
Scenarios

“Radiative forcing quantifies the change in energy fluxes caused by changes in drivers of climate change [like CO₂ or CH₄] for 2011 relative to 1750.”

IPCC (2013)

Klimaerwärmung: Typische Auswirkungen auf Abflussregime



Dämpfung

- ① Weniger Abfluss im Sommer
- ② Mehr Abfluss im Winter

Verschiebung

- ③ Hohe Abflüsse früher im Jahr

Addor et al. (2014)

Gletscherschmelze

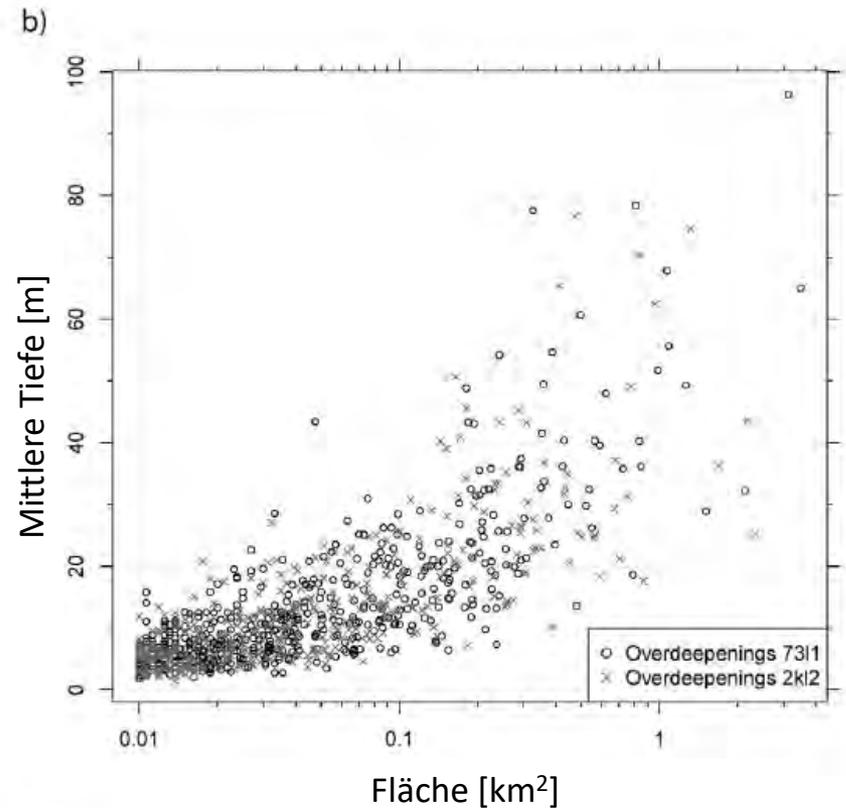
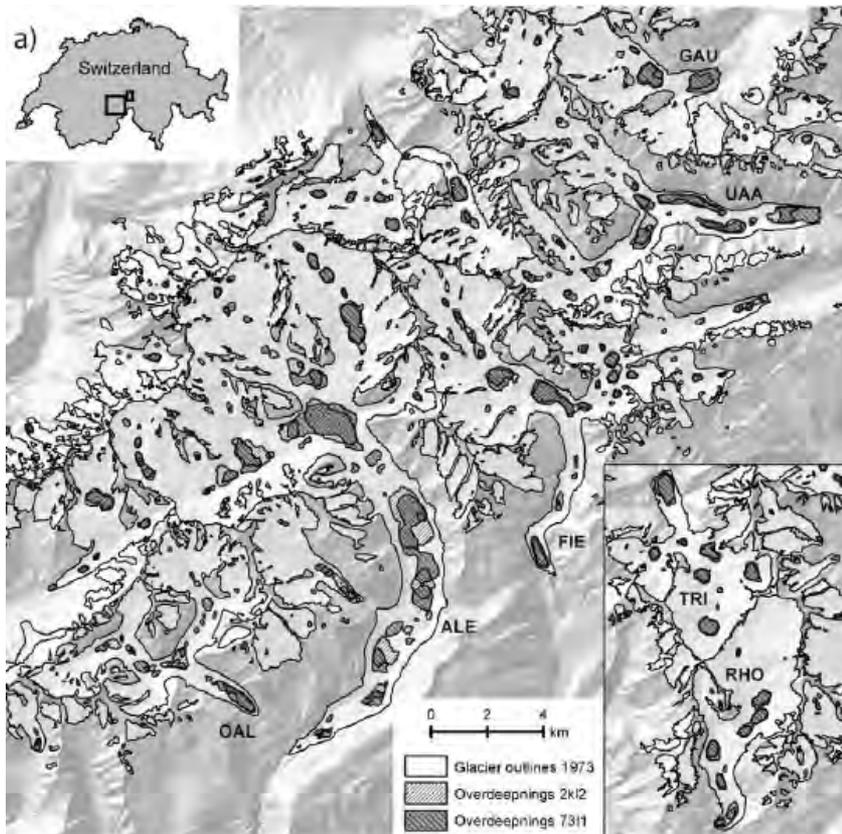


Oberer Grindelwaldgletscher

Sammlung Gesellschaft für ökologische Forschung / Daniela Grosse / Wolfgang Zängl [2]

Bildung von proglazialen Seen

Geländesenken, die infolge Gletscherrückzug frei werden könnten



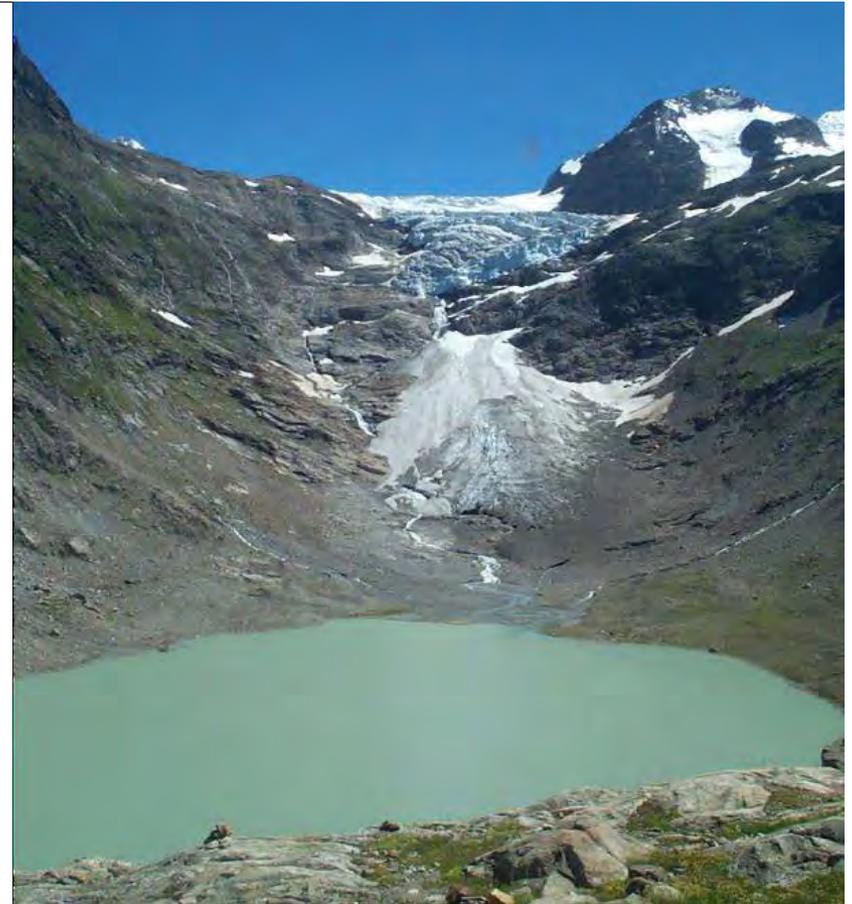
Quelle: Linsbauer et al. (2012)

Proglaziale Seen und Gletschervorfelder

Möglichkeiten für neue Speicher und hydraulische Systeme



Triftgletscher 30. Juni 2004 (Quelle: VAW)



Triftgletscher 3. Juli 2014 (Quelle: VAW)

Herausforderungen Energiestrategie 2050

Wie können wir langfristig unsere Wasserkraftinfrastruktur für alle zufriedenstellend **erhalten, verbessern** und **betreiben**?

- Effizienzsteigerungen (z.B. Verbesserungen betreffend Turbinenabrasion)
- Erhöhte Flexibilität (z.B. neue Pumpspeicherkraftwerke)
- Erhöhte Akzeptanz (z.B. ökologische Massnahmen)

Lässt sich die **Elektrizitätsproduktion** aus Wasserkraft **steigern**, unter Berücksichtigung zukünftiger Änderungen der Nachfrage, des Klimas und des Betriebs?

- **Neue** Grosswasserkraftanlagen in hohen Lagen im Umfeld (ehemaliger) Gletscher → periglaziale Wasserkraft
- **Ausbau** bestehender Stauseen mittels **Talsperrenerhöhungen** (v.a. erhöhte Wasserkraftproduktion im **Winter**)

Inhalt

- Einleitung
 - Energiestrategie ES 2050
 - Herausforderungen und Chancen betreffend Wasserkraft
- **Wasserkraftpotential im vergletscherten Umfeld**
- Produktionsverlagerung in den Winter mit Talsperreenerhöhungen
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Energiewende – Nationales Forschungsprogramm 70



Energiewende
Nationales Forschungsprogramm



Building and settlement

Industrial processes

Transport and mobility

Electricity supply

Next generation photovoltaics

Sustainable decentralised power generation

Hydropower and geo-energy

Assessing future electricity markets (AFEM)

HEPS4Power - Extended-range Hydrometeorological Ensemble Predictions for Improved Hydropower Operations and Revenues

SwiSS solid-state SiC transformer

Hydropower potential and reservoir sedimentation in the periglacial environment under climate change

Electricity storage via adiabatic air compression

Design optimization of Alpine desanding facilities

The future of Swiss hydropower

Optimizing Environmental Flow Releases under Future Hydropower Operation (HydroEnv)

Perovskites for solar energy

Modelling permeability and stimulation for deep heat mining

Hybrid HVAC / HVDC overhead lines in Switzerland

Exploration and characterization of deep underground reservoirs

Trade-offs in switching to renewable electricity

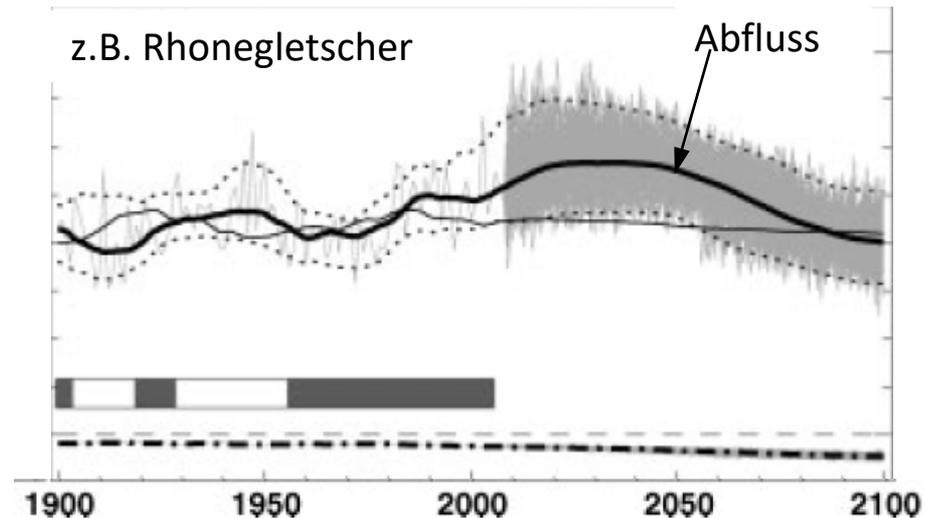
Risk Governance of Deep Geothermal and Hydro Energy

Software-based real-time grid control

Sustainable floodplain management and hydropower

Periglaziale Wasserkraft: Methodik zur Potentialabschätzung

- ① Abflussprognosen bis 2100
 - 1576 Gletscherteileinzugsgebiet
 - 14 Globale Zirkulationsmodelle
 - 3 Emissionsszenarien
- ② Ausgewählte Beispiele mit mittlerem Jahresabfluss $>10 \text{ hm}^3$
- ③ Systematische Bewertung von 62 Standorten mittels Evaluationsmatrix (Doktorarbeit D. Ehrbar 2018, Studentenarbeiten 2017)
- ④ Schätzung des Potentials neuer periglazialer Reservoire zur Elektrizitätserzeugung
- ⑤ Auflistung der vielversprechendsten möglichen Standorte/Anlagen



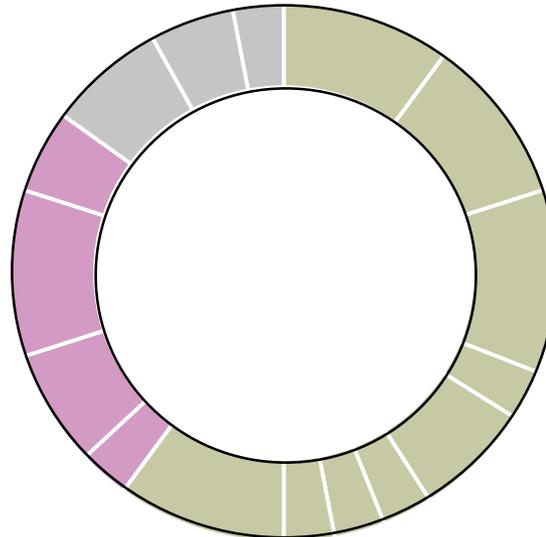
Source: Farinotti *et al.* (2012)

Periglaziale Wasserkraft: Bewertungsmatrix

1 - 3 Punkte für jedes Kriterium, mit folgender Gewichtung

GESELLSCHAFT (15%)

- Schutzzonen (7%)
- Landnutzung (5%)
- Tourismus (3%)



WIRTSCHAFT (60%)

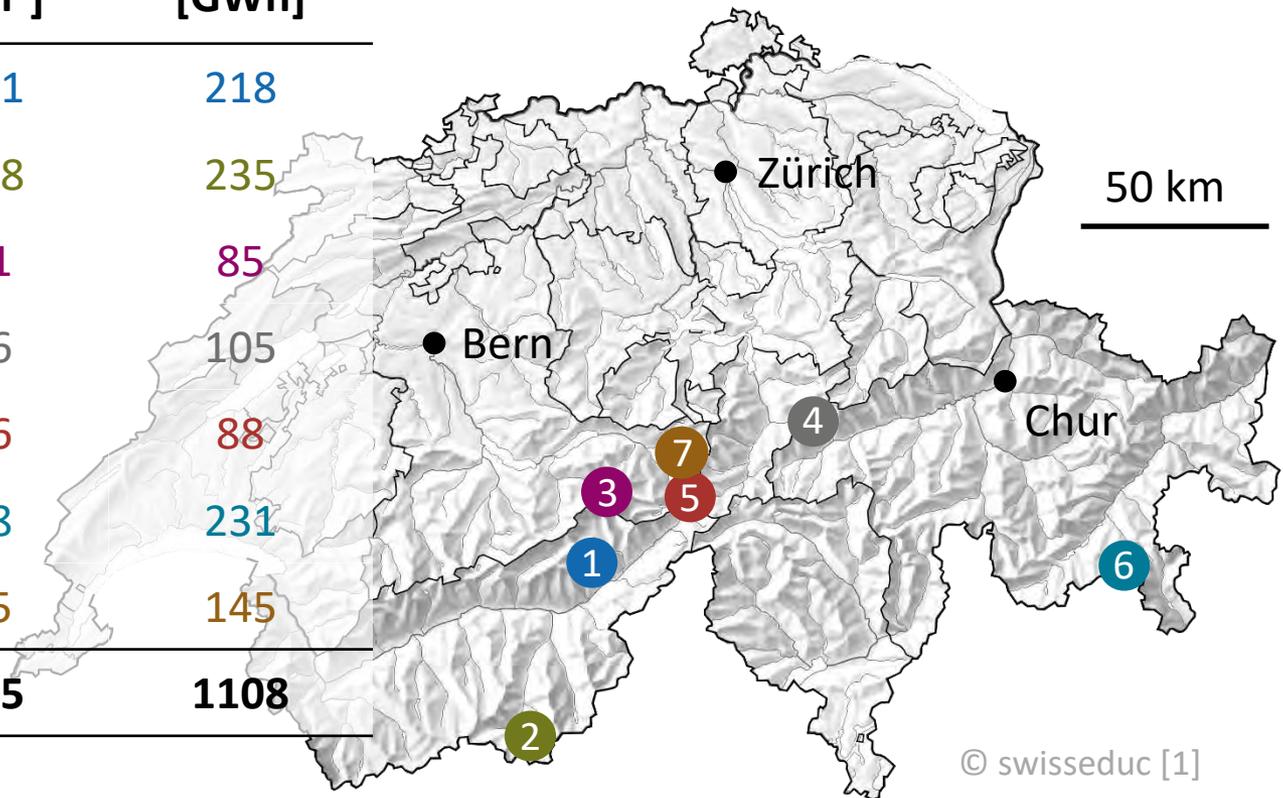
- Installierte Leistung (10%)
- Stromproduktion (10%)
- Investitionskosten (11%)
- Zuflussentwicklung (3%)
- Speicherverlandung (7%)
- Erdbeben (3%)
- Impulswellen (3%)
- Hochwasserschutz (3%)
- Flexibilität und Speicherkapazität (10%)

UMWELT (25%)

- Sichtbarkeit von Siedlungen aus (3%)
- Restwasser (7%)
- Sedimentdurchgängigkeit (10%)
- Schwall/Sunk und Thermopeaking (5%)

Periglaziale Wasserkraft: Resultate

Gletscher (alphabetisch)	Speicher- volumen [hm ³]	Jahres- produktion [GWh]
1 Aletsch	181	218
2 Gorner	168	235
3 Grindelwald	71	85
4 Hüfi	36	105
5 Rhône	46	88
6 Roseg	78	231
7 Trift	85	145
Total	665	1108

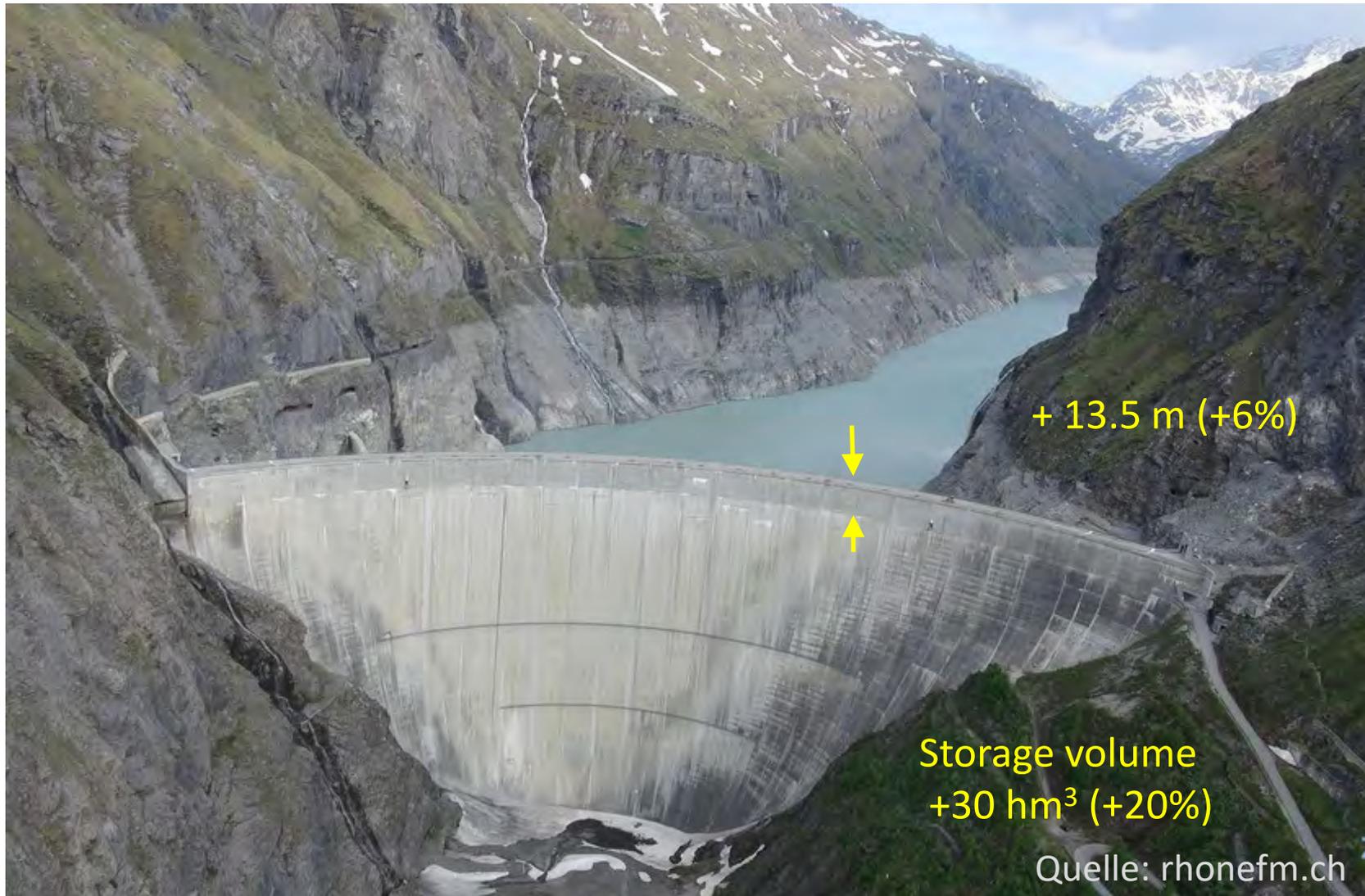


© swisseduc [1]

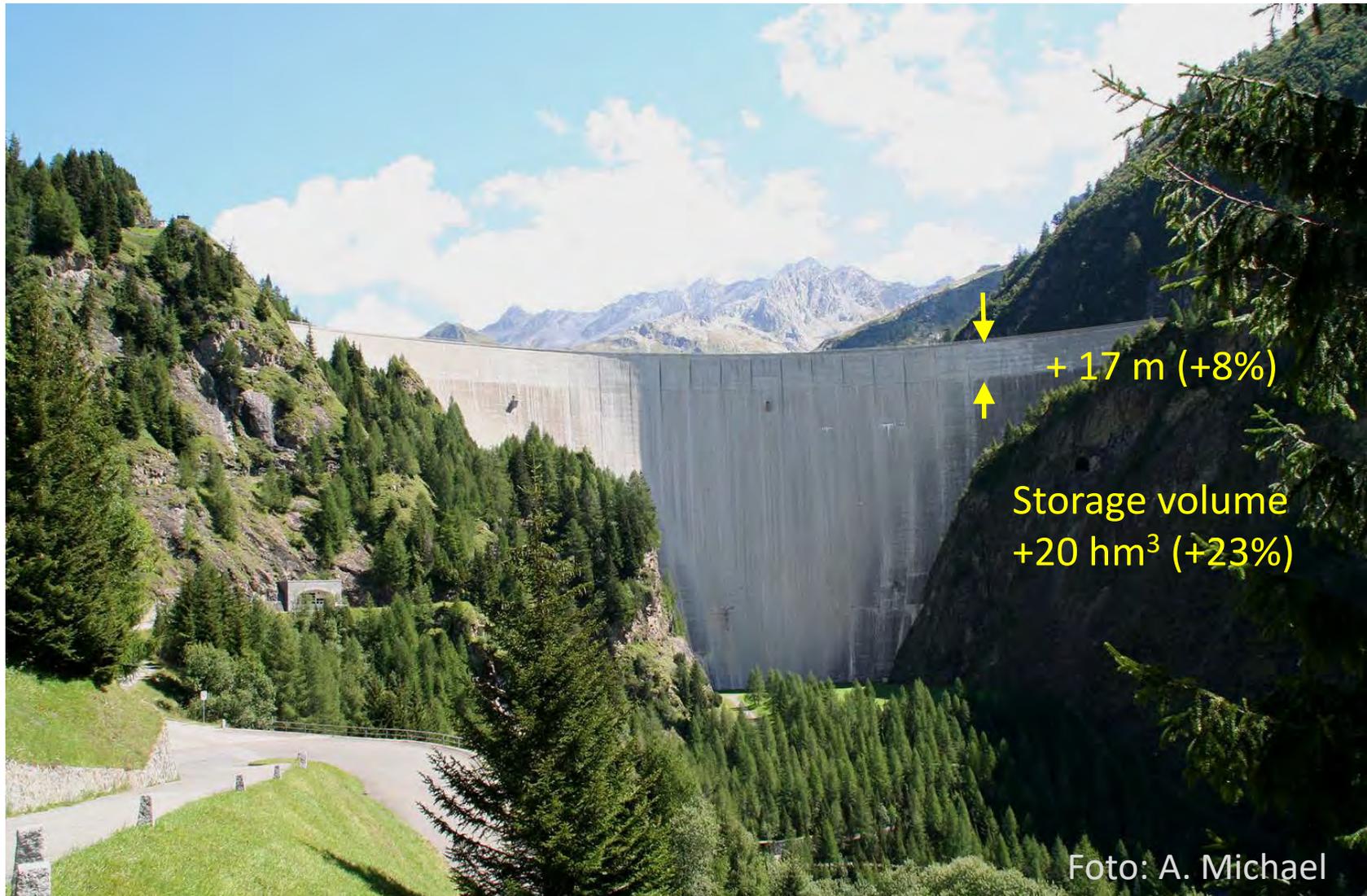
Inhalt

- Einleitung
 - Energiestrategie ES 2050
 - Herausforderungen und Chancen betreffend Wasserkraft
- Wasserkraftpotential im vergletscherten Umfeld
- Produktionsverlagerung in den Winter mit Talsperreenerhöhungen
- Schlussfolgerungen und Ausblick

Talsperreenerhöhung Mauvoisin (1989-1991)



Talsperreenerhöhung Luzzzone (1997–1998)



Talsperreenerhöhung Vieux Emosson (2012–2015)

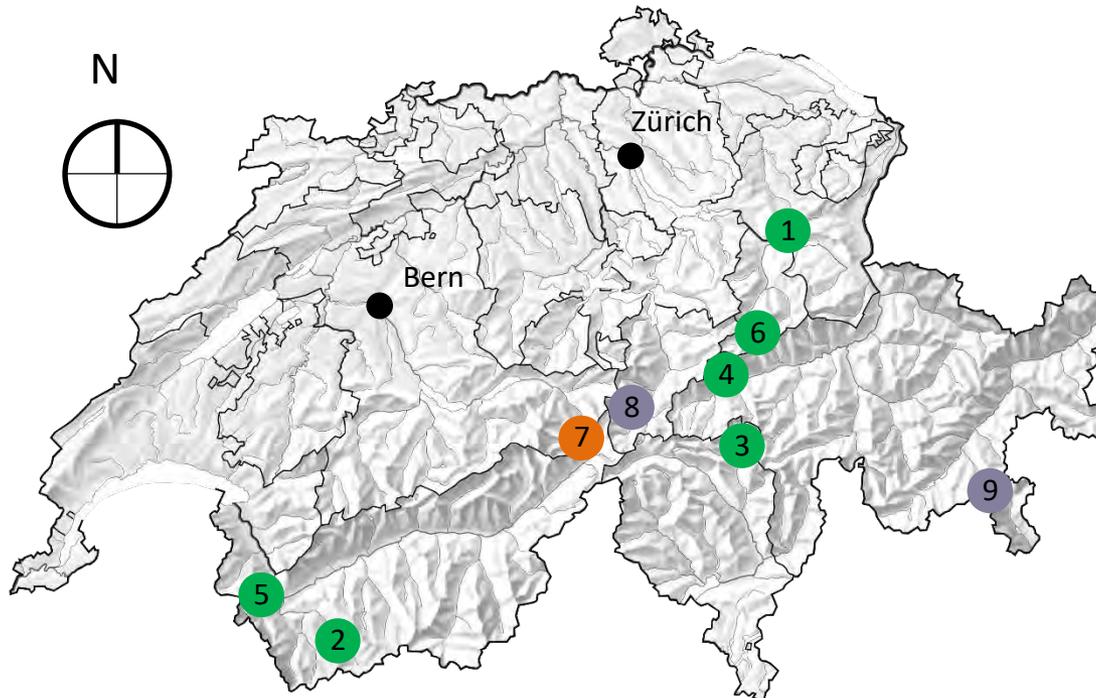


+ 21.5 m (+39%)

Storage volume
+25 hm³ (+100%)

Foto: <http://verticalp-emosson.ch>

Talsperrenenerhöhungen in der Schweiz



Grundlagenkarte: swisseduc [1]
Informationen zu Talsperren und deren Erhöhungen gemäss
www.swissdams.ch, Fachartikeln und Zeitungsartikeln

Ausgeführte Beispiele (chronologisch)

- 1 Muslen (1981):
+5 m (+21%), <math><0.01 \text{ hm}^3</math>
- 2 Mauvoisin (1991):
+13.5 m (+6%), +30 hm^3 (+20%)
- 3 Luzzzone (1999):
+17 m (+8%), +20 hm^3 (+23%)
- 4 Barcuns (2014):
+5 m (+17%), +0.1 hm^3 (+83%)
- 5 Vieux-Emosson (2014):
+21.5 m (+39%), +25 hm^3 (+100%)
- 6 Muttsee (2016):
+35 m, +23.4 hm^3 (war natürlicher See)

Option in Planung:

- 7 Spitalamm + Seeuferegg (Grimselsee)
+23 m (+20%), +75 hm^3 (+79%)

Frühere Projektstudien (nicht aktuell)

- 8 Göscheneralp
+8 m (+5%), +11 hm^3 (+15%)
- 9 Lago Bianco (Mauern Nord und Süd)
+4.3 m (+17%), +8 hm^3 (+44%)

Talsperreenerhöhungen: Methodik zur Potentialabschätzung

- ① Aufstellen einer Bewertungsmatrix
- ② Systematische Bewertung der 38 grössten Schweizer Wasserkraftspeicher (> ca. 20 hm³) für drei relative Erhöhungsmasse:
5%, 10% und 20% der bestehenden Höhe der (Haupt-)Sperre
- ③ Abschätzung der erreichbaren zusätzlichen Speichervolumina und der Elektrizitätsproduktion, die zusätzlich in den Winter umgelagert werden kann, in zwei Szenarien mit unterschiedlicher Realisierungswahrscheinlichkeit

Talsperrenerhöhungen: Bewertungsmatrix

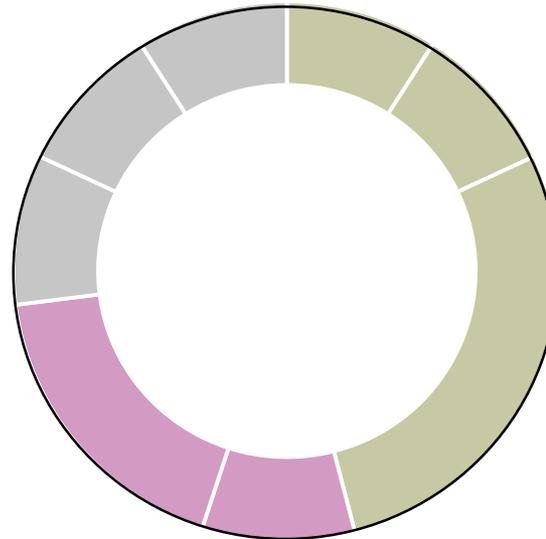
0 - 4 Punkte für jedes Kriterium (0 = Ausschlusskriterium), mit folgender Gewichtung

ZUKÜNFTIGER STAURAUM UND SPERRSTELLE (27%)

- Schutzzonen (9%)
- Landnutzung, Siedlung (9%)
- Infrastrukturanpassungen (9%)

SPERRE (27%)

- Bautechnische Eignung (9%)
- Relativer Aufwand (18%)

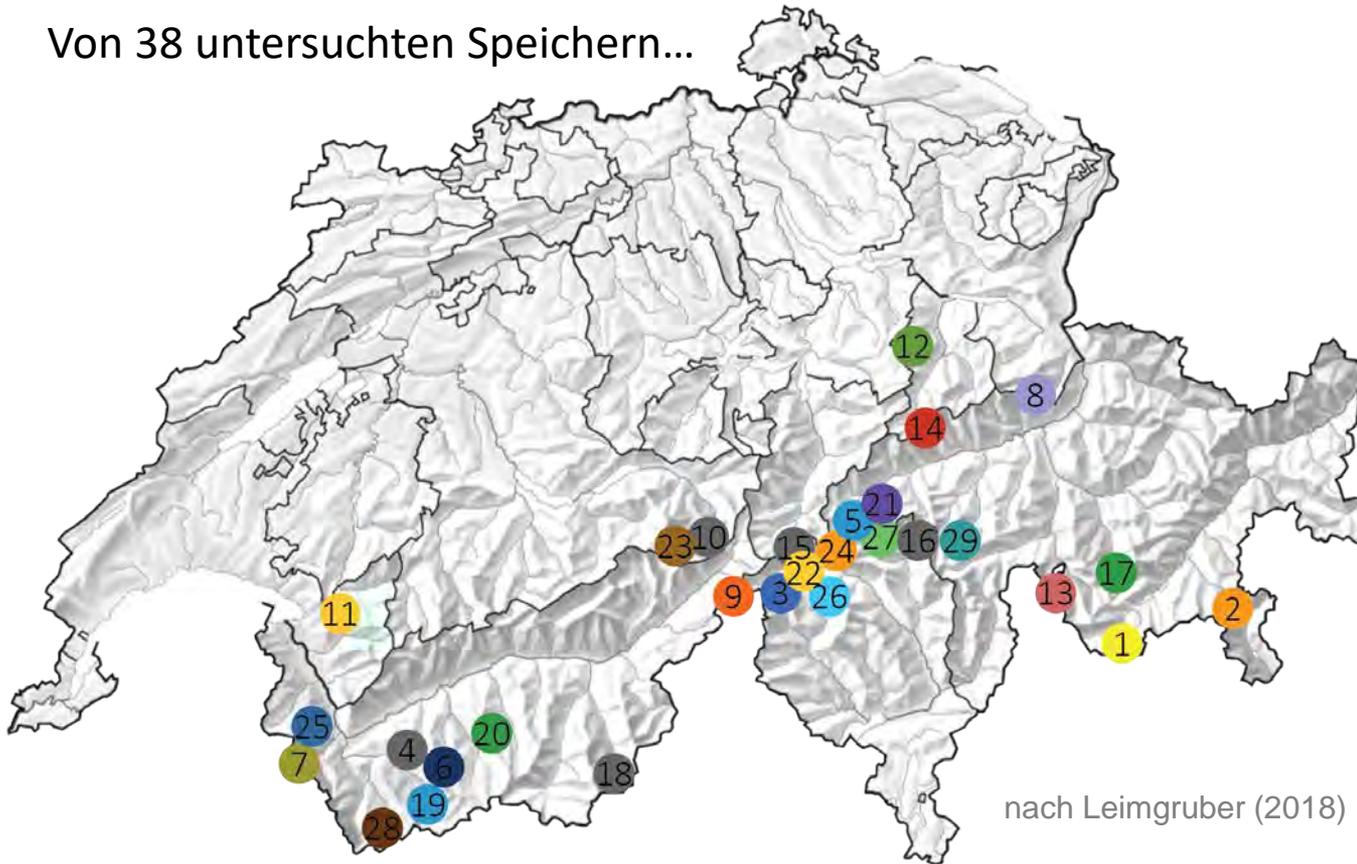


KRAFTWERKSSYSTEM (46%)

- Genügende Zuflüsse (9%)
- Anpassungen hydr. System (9%)
- Produktionsumlagerung in den Winter (28%)

Talsperrenerhöhungen: Resultate

Von 38 untersuchten Speichern...

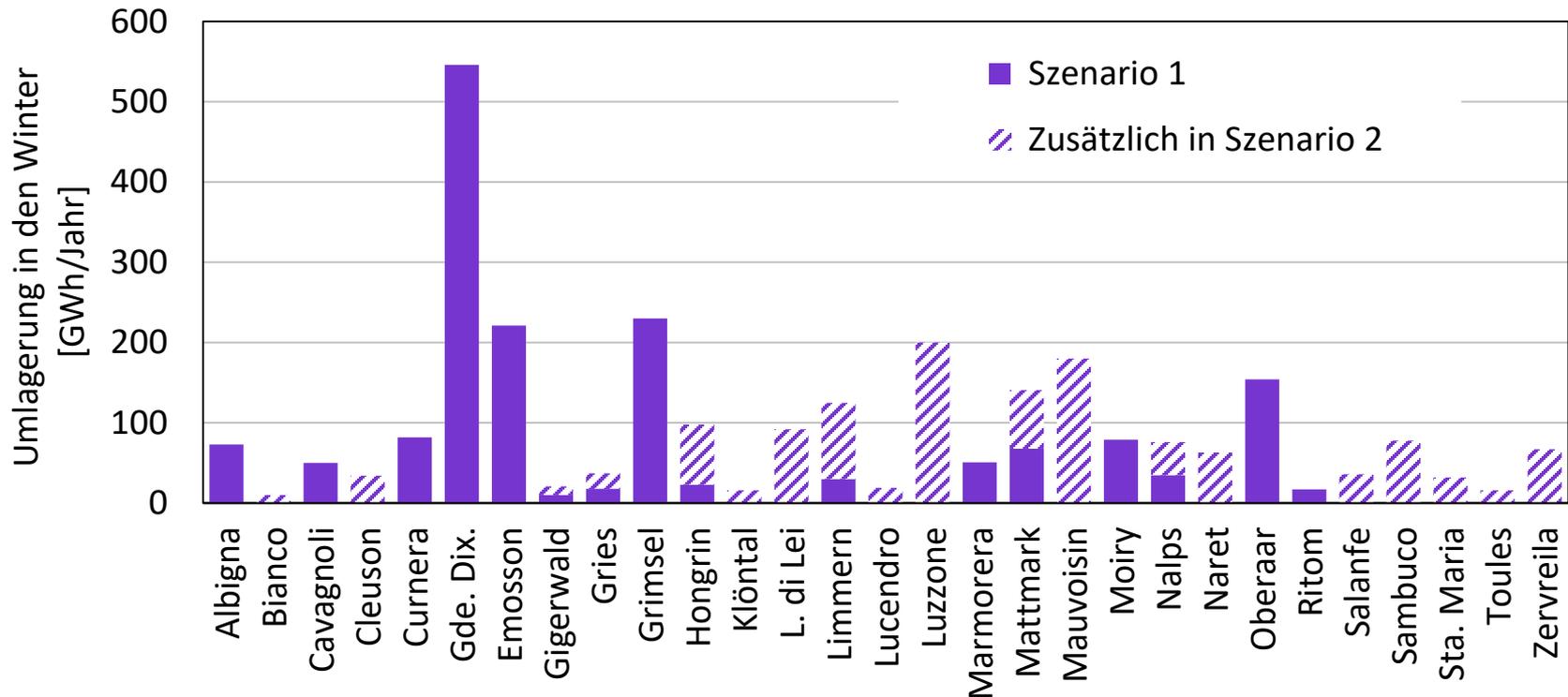


nach Leimgruber (2018)

- | | |
|----|-----------------------|
| 1 | Lago d'Albigna |
| 2 | Lago Bianco |
| 3 | Lago di Cavagnoli |
| 4 | Lac de Cleuson |
| 5 | Lai da Curnera |
| 6 | Lac des Dix (Gde. D.) |
| 7 | Lac d'Emosson |
| 8 | Gigerwaldsee |
| 9 | Griessee |
| 10 | Grimsensee |
| 11 | Lac d'Hongrin |
| 12 | Klöntalersee |
| 13 | Lago di Lei |
| 14 | Limmernsee |
| 15 | Lago di Lucendro |
| 16 | Lago di Luzzone |
| 17 | Lai da Marmorera |
| 18 | Mattmarksee |
| 19 | Lac de Mauvoisin |
| 20 | Lac de Moiry |
| 21 | Lai da Nalps |
| 22 | Lago del Naret |
| 23 | Oberaarsee |
| 24 | Lago Ritom |
| 25 | Lac de Salanfe |
| 26 | Lago del Sambuco |
| 27 | Lai da Santa Maria |
| 28 | Lac des Toules |
| 29 | Zervreilasee |

- 16 Anlagen «interessant» (Szenario 1)
 - 13 Anlagen «eventuell möglich»
 - 9 Anlagen ausgeschlossen
- } 29 Anlagen (Szenario 2)

Talsperrenenerhöhungen: Resultate



	Umlagerung in den Winter	Anzahl Speicher			
		Total	Erhöhung um 5%	10%	20%
Szenario 1	1.7 TWh/a	16	3	6	7
Szenario 2	2.8 TWh/a	29	2	8	19

Zusammenfassung

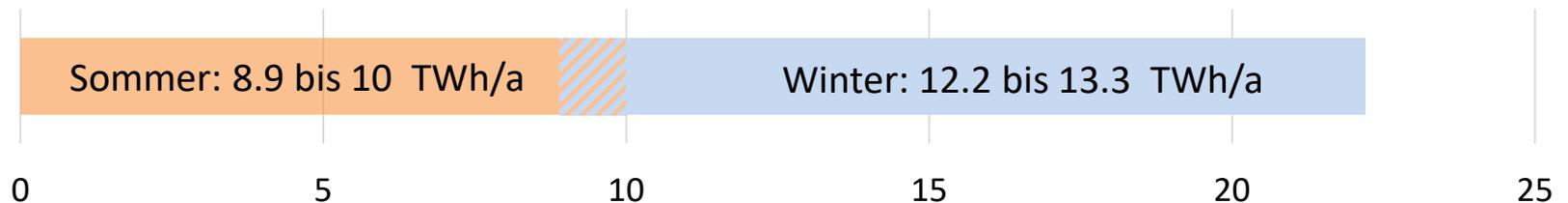
Bestehende Speicherwasserkraftwerke: 21.1 TWh/a

BFE (2016), Mittelwert der Jahre 2006 -2016



z.B. 7 neue WKA im proglazialen Umfeld: + 1.1 TWh/a (+5%)

Mit Talsperreenerhöhungen: 1.7 bis 2.8 TWh/a vom Sommer in den Winter



→ ca. 2 bis 3.5 TWh/a mehr im Winter

Schlussbemerkungen und Ausblick

- **(Speicher-)Wasserkraft** spielt weiterhin die **tragende Rolle in der Elektrizitätsversorgung** der Schweiz
- Gletscherrückzug gibt Möglichkeiten für **neue Speicherwasserkraftanlagen in hohen Lagen**
- **Talsperrenerhöhungen** ermöglichen eine Produktionsverlagung in den Winter, um Importe zu reduzieren
- Vergrösserte Speicher sind auch wichtig für die **Integration neuer erneuerbarer Energien** und als **Mehrzweckanlagen** (Bewässerung, Wasserversorgung)
- Massnahmen zur Förderung des Speicherausbaus prüfen
- Weitere Studien und Projektvorschläge, welche die anlagespezifischen Eigenheiten genauer berücksichtigen

Danke für Ihre Aufmerksamkeit



boes@vaw.baug.ethz.ch