



Schweizer Wasserkraft in der Energiestrategie 2050 – quo vadis?

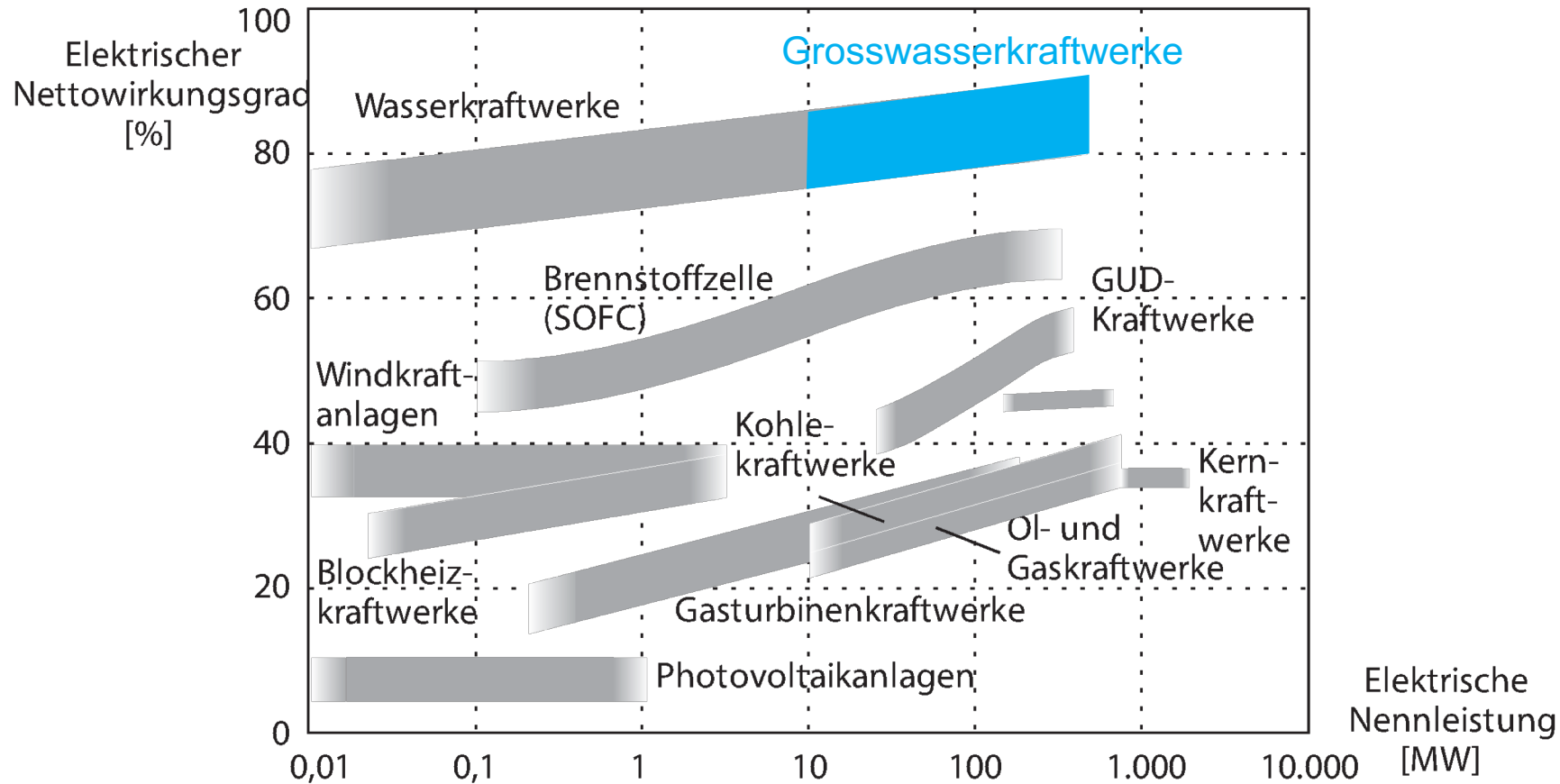
Robert Boes

Energy Day @ ETH

11. Dezember 2018

Sehr hohe Wirkungsgrade

gilt für alle Turbinen-Typen

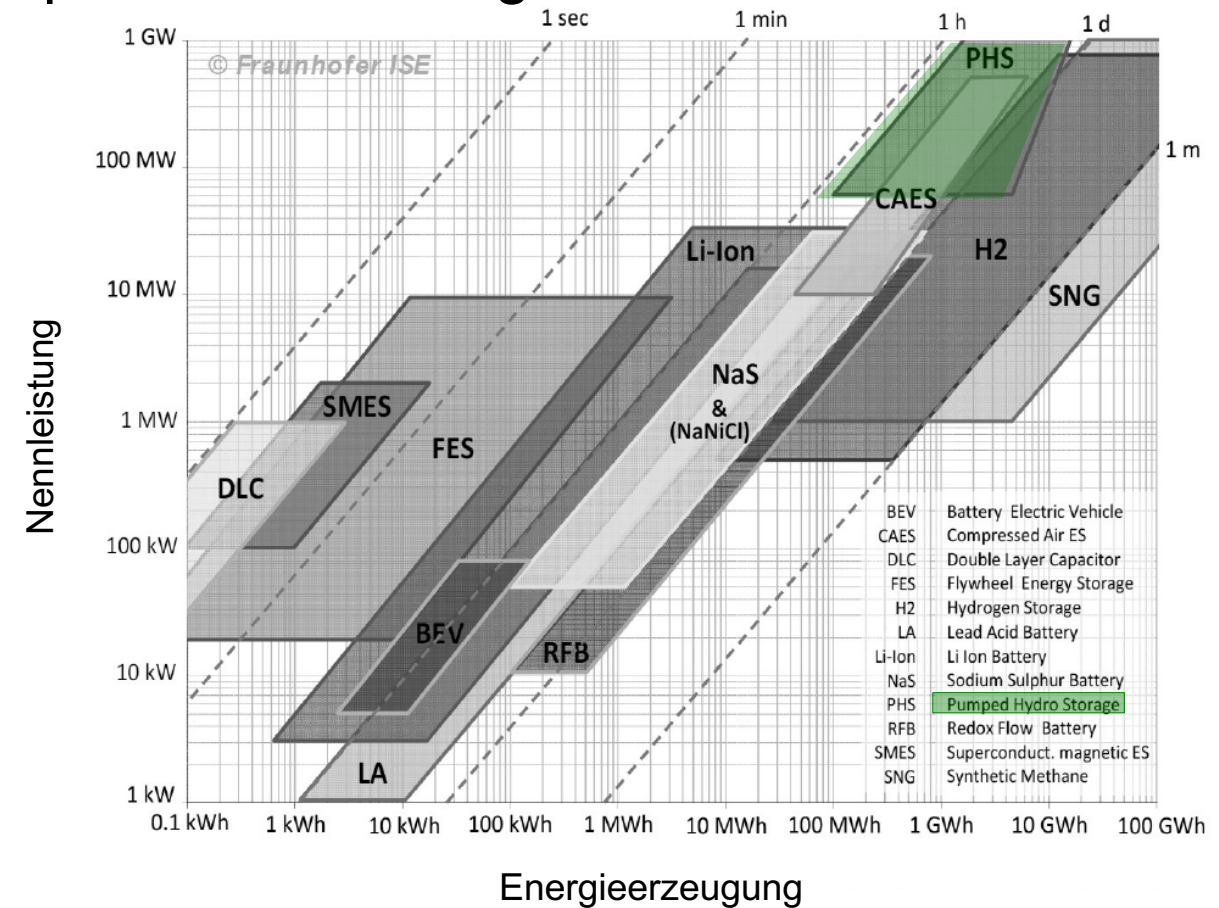
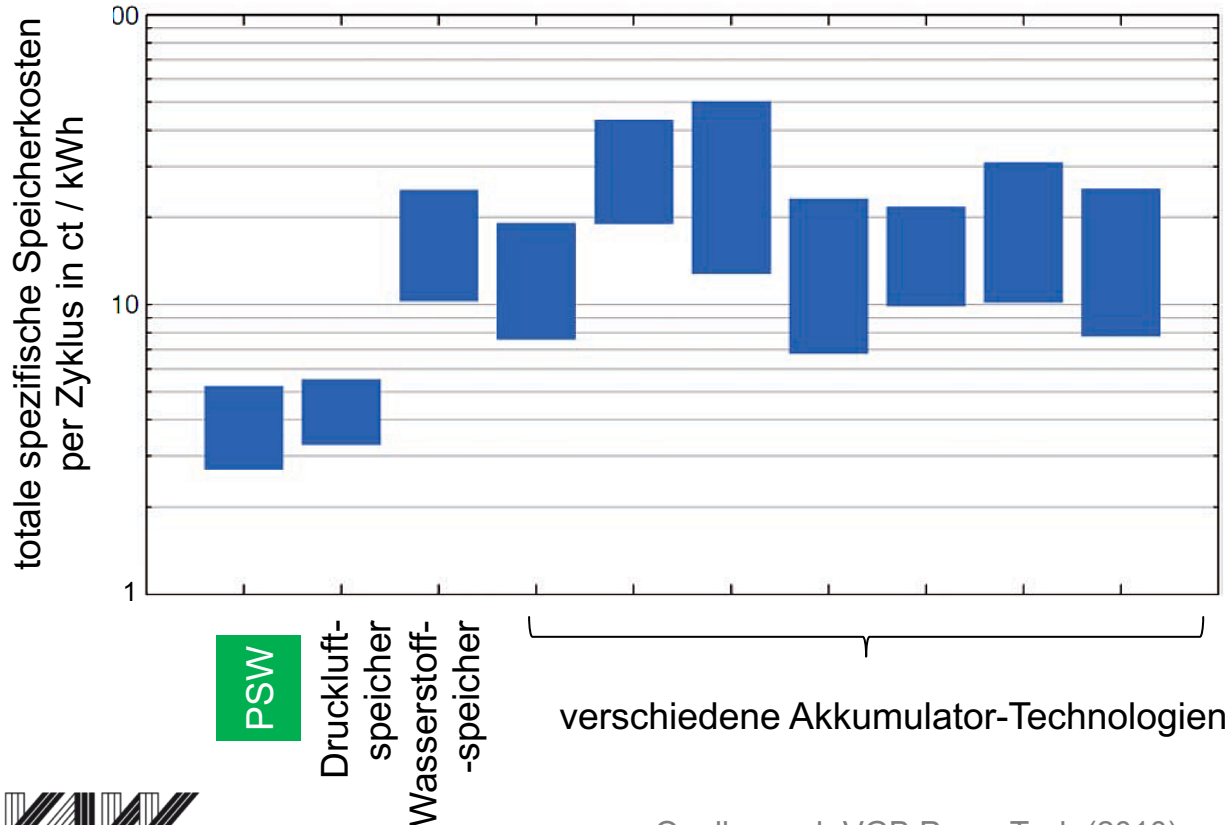


Quelle: Giesecke *et al.* (2014)

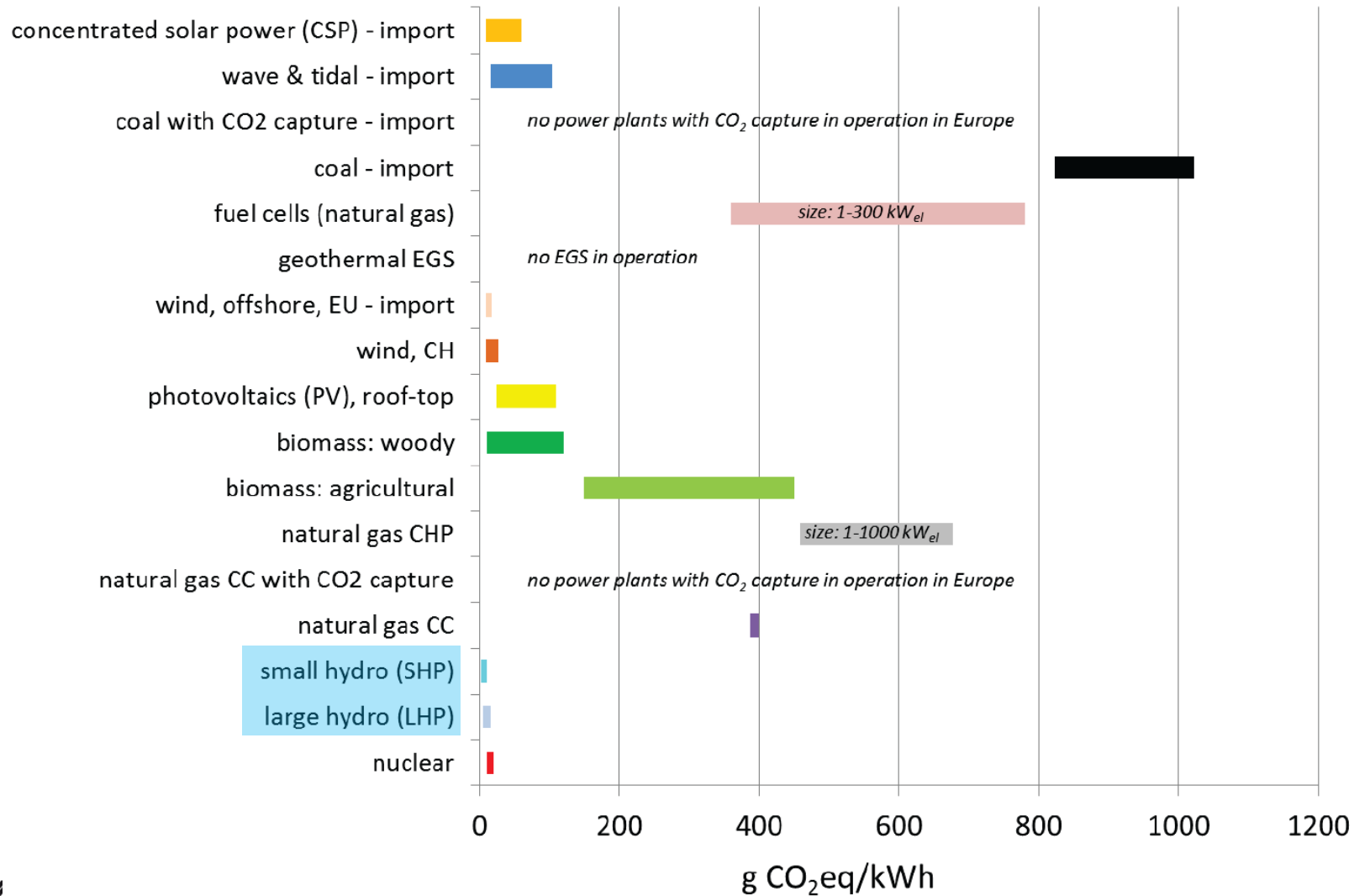
Grosse Speicherkapazitäten und -effizienzen

(Pump-)Speicherwasserkraft (PSW)

- **Grosstechnisch** ausgereifteste Energiespeichertechnologie
- **Günstigste** Speichertechnologie



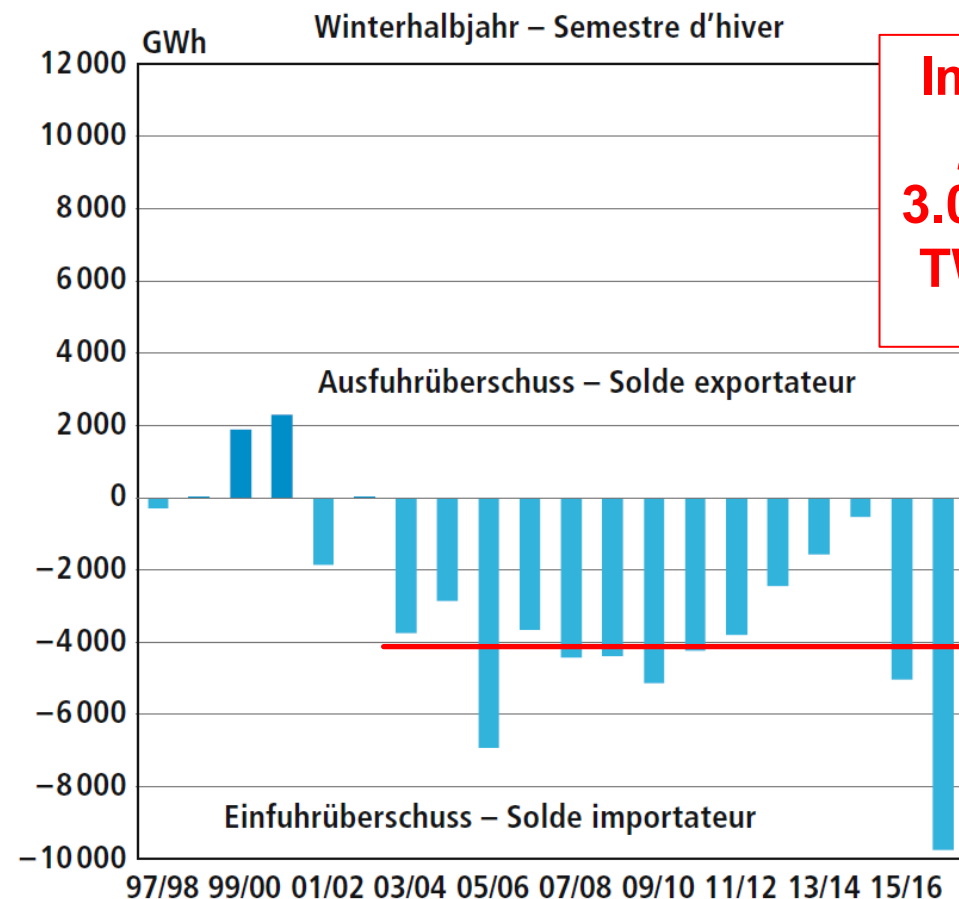
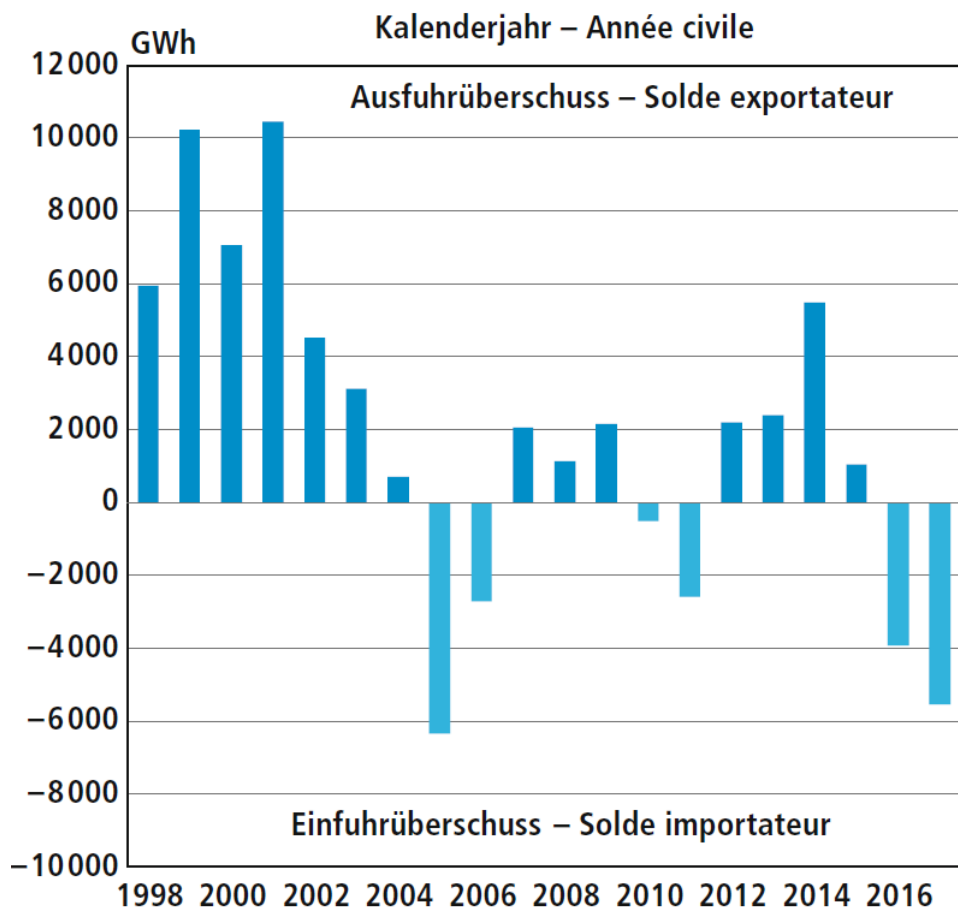
CO₂-Emissionen



Lebenszyklus-Treibhausgas-emissionen aktueller Strom-erzeugungstechnologien (ab Kraftwerk) für die Stromver-sorgung der Schweiz

Quelle: Bauer, Hirschberg (eds.) *et al.* (2017)

Elektrizitätsexporte und -importe



**Importsaldo in 2050
je nach Szenario
3.0 (NEP) – 7.7 (POM)
TWh/Winterhalbjahr**

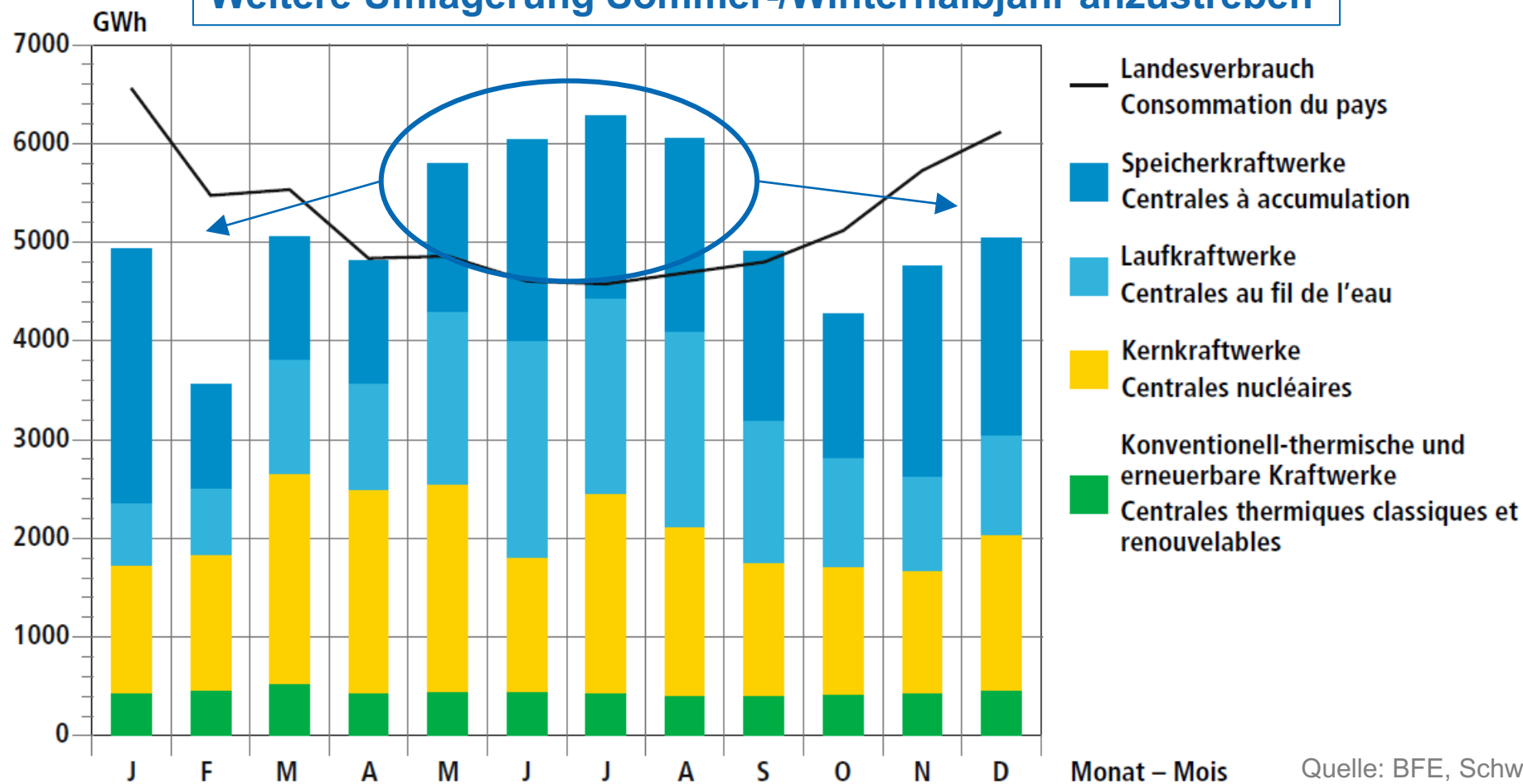
Quelle: Piot (2014)

**2003 – 2017
Importsaldo i.M.
~4.2 TWh/
Winterhalbjahr**

Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017

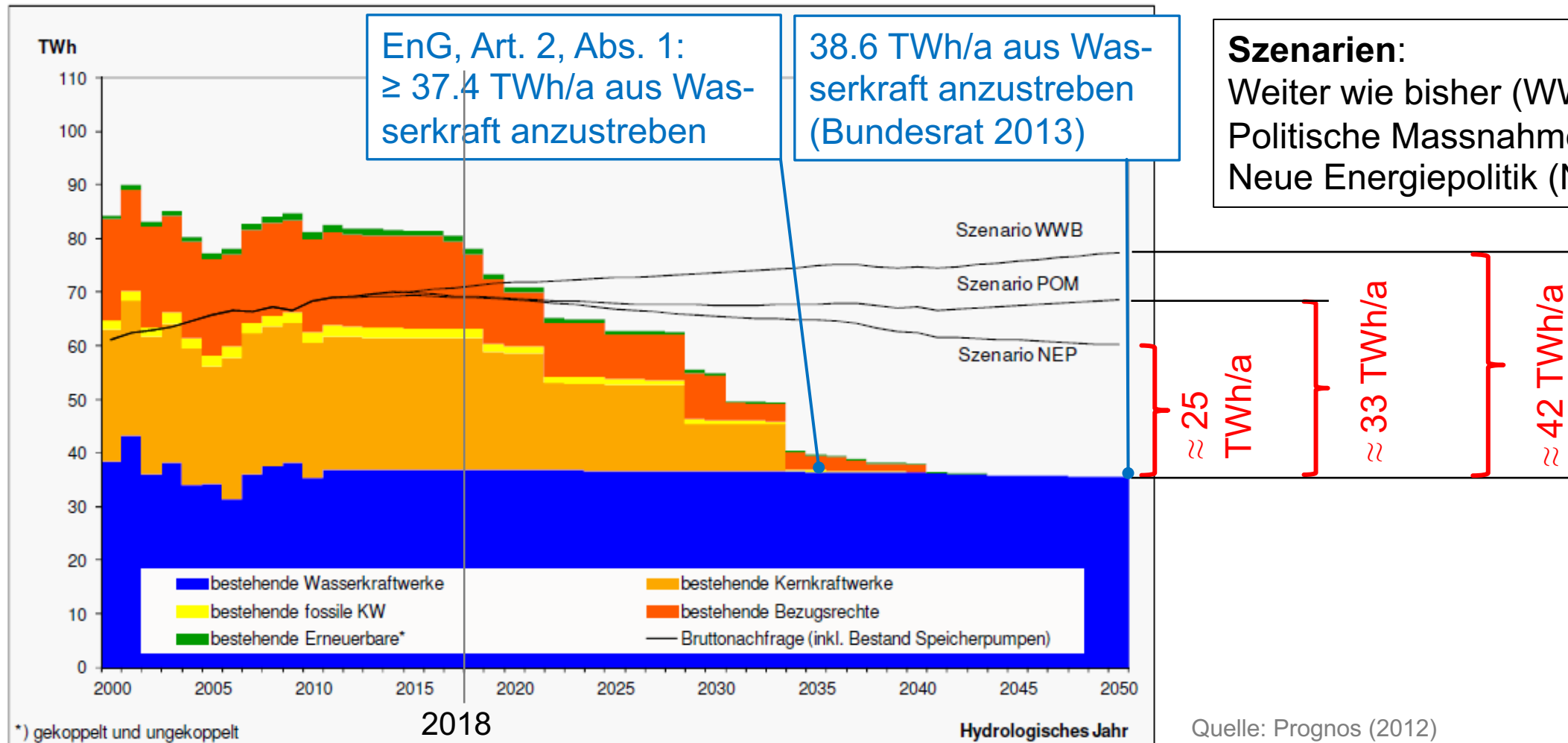
Landesverbrauch im Kalenderjahr 2017

Weitere Umlagerung Sommer-/Winterhalbjahr anzustreben



Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2017

Elektrizitätserzeugung und -nachfrage



Erwartetes Ausbaupotenzial Wasserkraft

Energiestrategie 2050: Schätzungen

in TWh/a	Heutige Nutzungsbedingungen		Optimierte Nutzungsbedingungen	
	BFE	SWV	BFE	SWV
Potenzial durch Effizienzsteigerungen, Aus- und Neubau Wasserkraft	2.93	2.0 ÷ 4.0	4.56	5.0 ÷ 7.0
Einbussen durch Restwasser	-1.40	-2.0 ÷ -4.0	-1.40	-1.0 ÷ -2.0
Total Wasserkraftpotenzial	1.53	0	3.16	4.0 ÷ 5.0

Quellen: BFE (2012), Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (2012)

Anlagenoptimierungen / Ausbau Niederdruckanlagen

- **Verbleibendes Potenzial** zur Steigerung des Regelarbeitsvermögens (RAV) **bedeutender bestehender Niederdruckkraftwerke**

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

1) Mittelwert der seit 1999 am Rhein umgebauten Anlagen (ohne KW Rheinfelden, da dies quasi einem Neubau entsprach)

2) Mittelwert der seit 1999 an der Aare umgebauten Anlagen (ohne KW Ruppoldingen, da dies quasi einem Neubau entsprach)

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

Quelle: adaptiert nach Boes (2011)

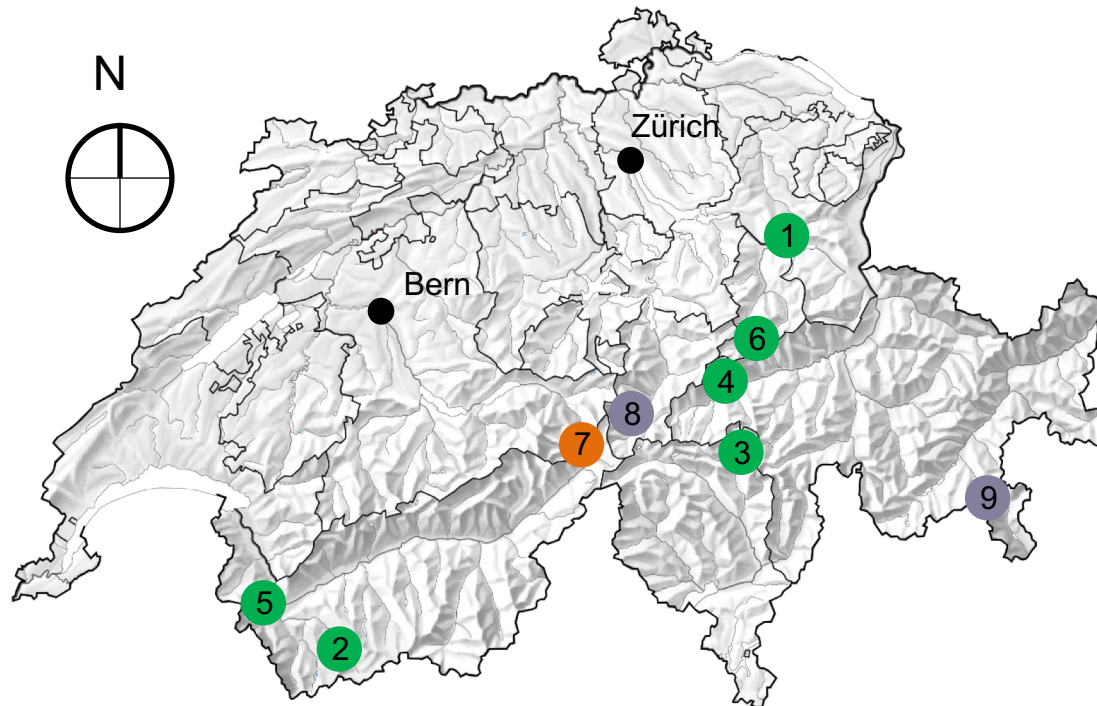
Periglaziale Wasserkraft: Resultate einer NFP70-Studie

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	1107



Quelle: Ehrbar *et al.* (2018)

Talsperrenerhöhungen in der Schweiz



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

Ausgeführte Beispiele (chronologisch)

- 1 Muslen (1981):
+5 m (+21%), <0.01 hm³
- 2 Mauvoisin (1991):
+13.5 m (+6%), +30 hm³ (+20%)
- 3 Luzzzone (1999):
+17 m (+8%), +20 hm³ (+23%)
- 4 Barcuns (2014):
+5 m (+17%), +0.1 hm³ (+83%)
- 5 Vieux-Emosson (2014):
+21.5 m (+39%), +25 hm³ (+100%)
- 6 Muttsee (2016):
+35 m, +23.4 hm³ (ursprünglich natürlicher See)

Option in Planung:

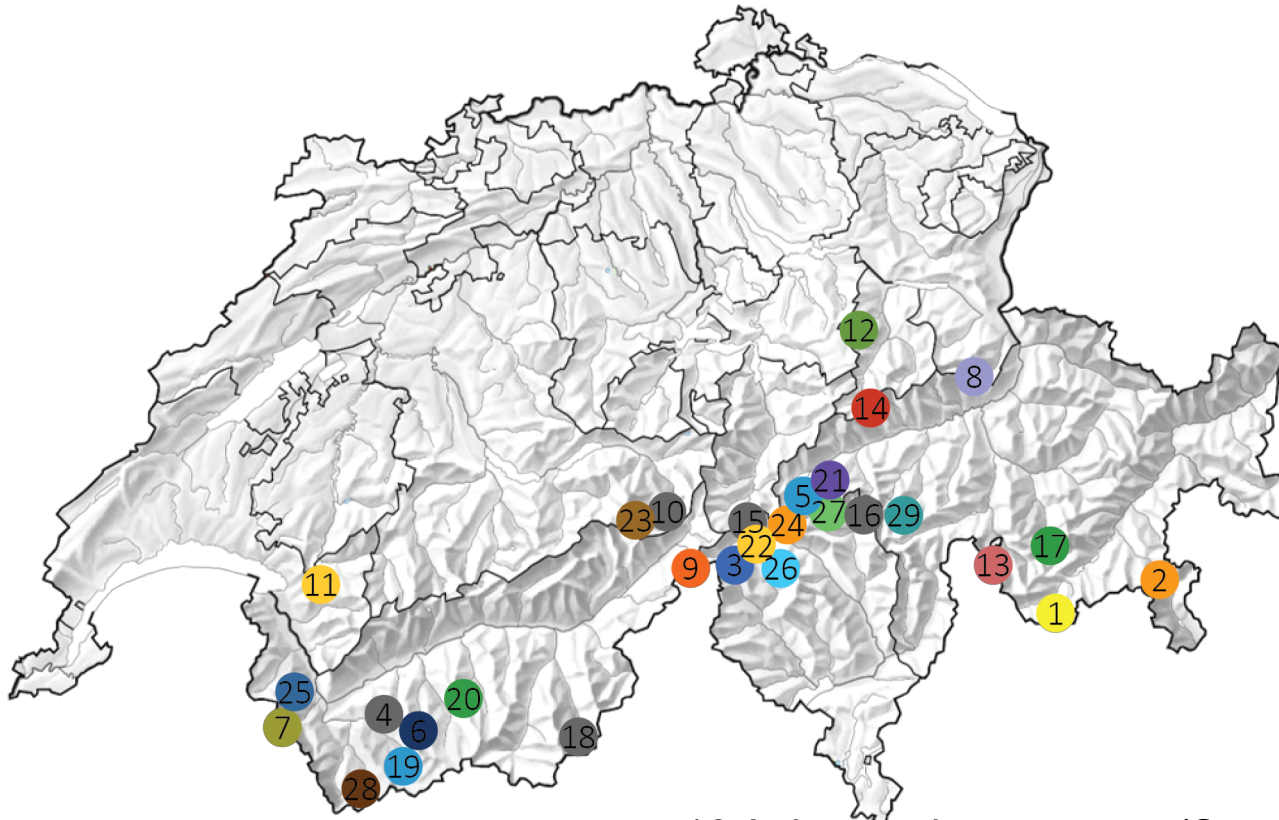
- 7 Spitalamm + Seeuferegg (Grimsensee)
+23 m (+20%), +75 hm³ (+79%)

Frühere Projektstudien (nicht aktuell)

- 8 Göschenalp
+8 m (+5%), +11 hm³ (+15%)
- 9 Lago Bianco (Mauern Nord und Süd)
+4.3 m (+17%), +8 hm³ (+44%)

Zukünftige Talsperrenerhöhungen: Resultate

Von 38 untersuchten Speichern...

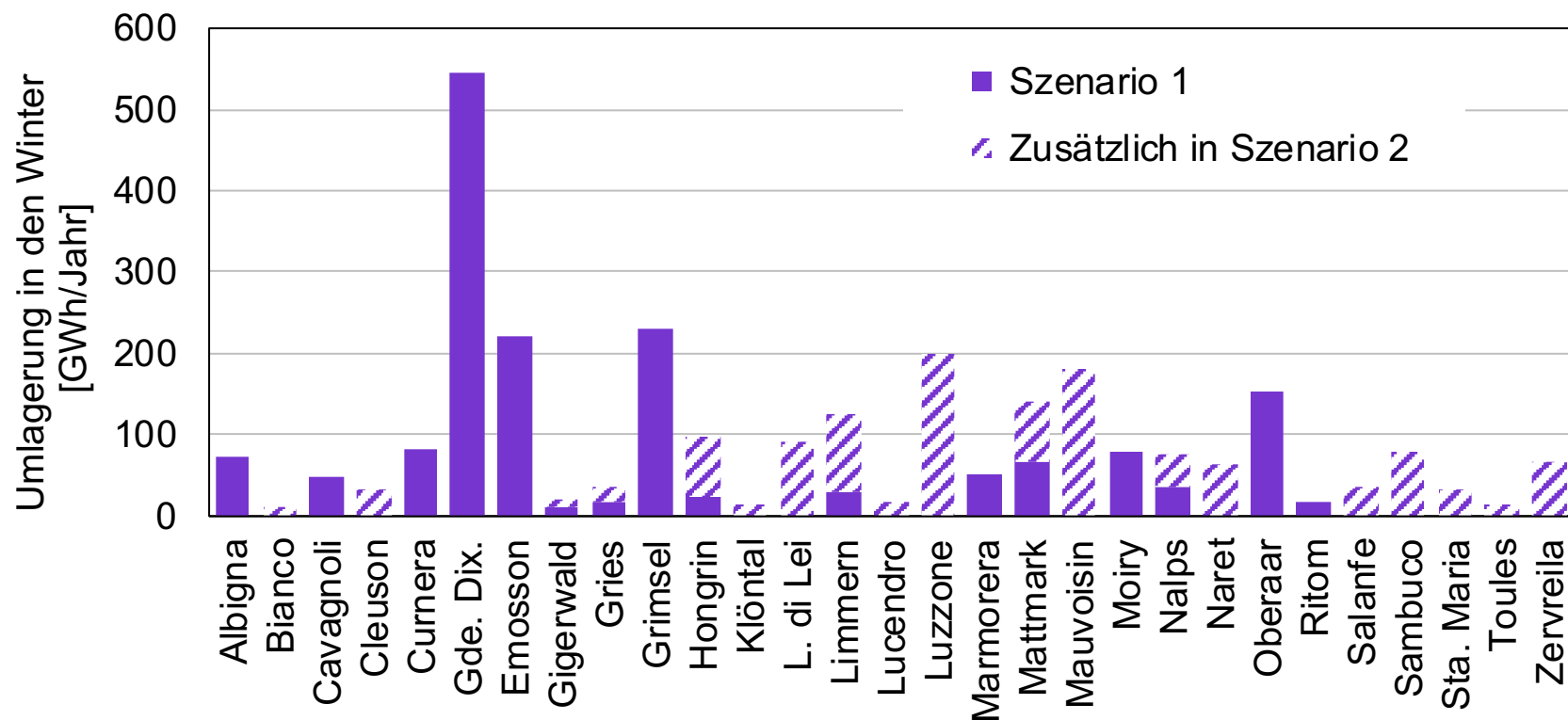


nach Leimgruber (2018)

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

- 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

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

Fazit Steigerung der Winterproduktion

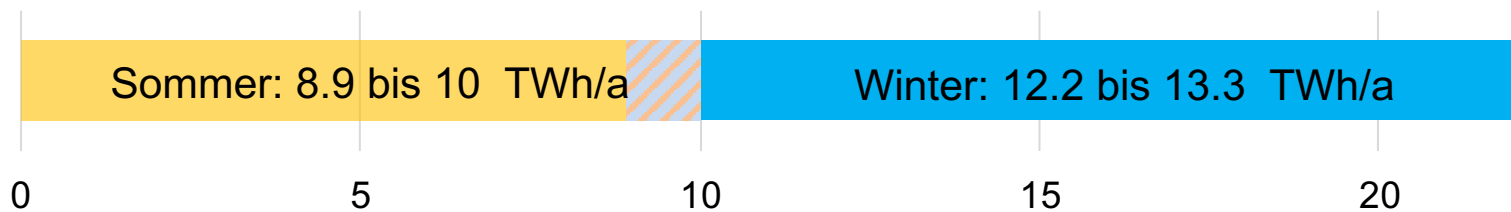
Bestehende Speicherwasserkraftwerke: 21.1 TWh/a → 22.2 TWh/a

BFE (2018), Mittelwert der Jahre 2006 -2017



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

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



→ **ca. 2 bis 3.5 TWh/a
mehr im Winter**

Pumpspeicherkapazitäten der Schweiz

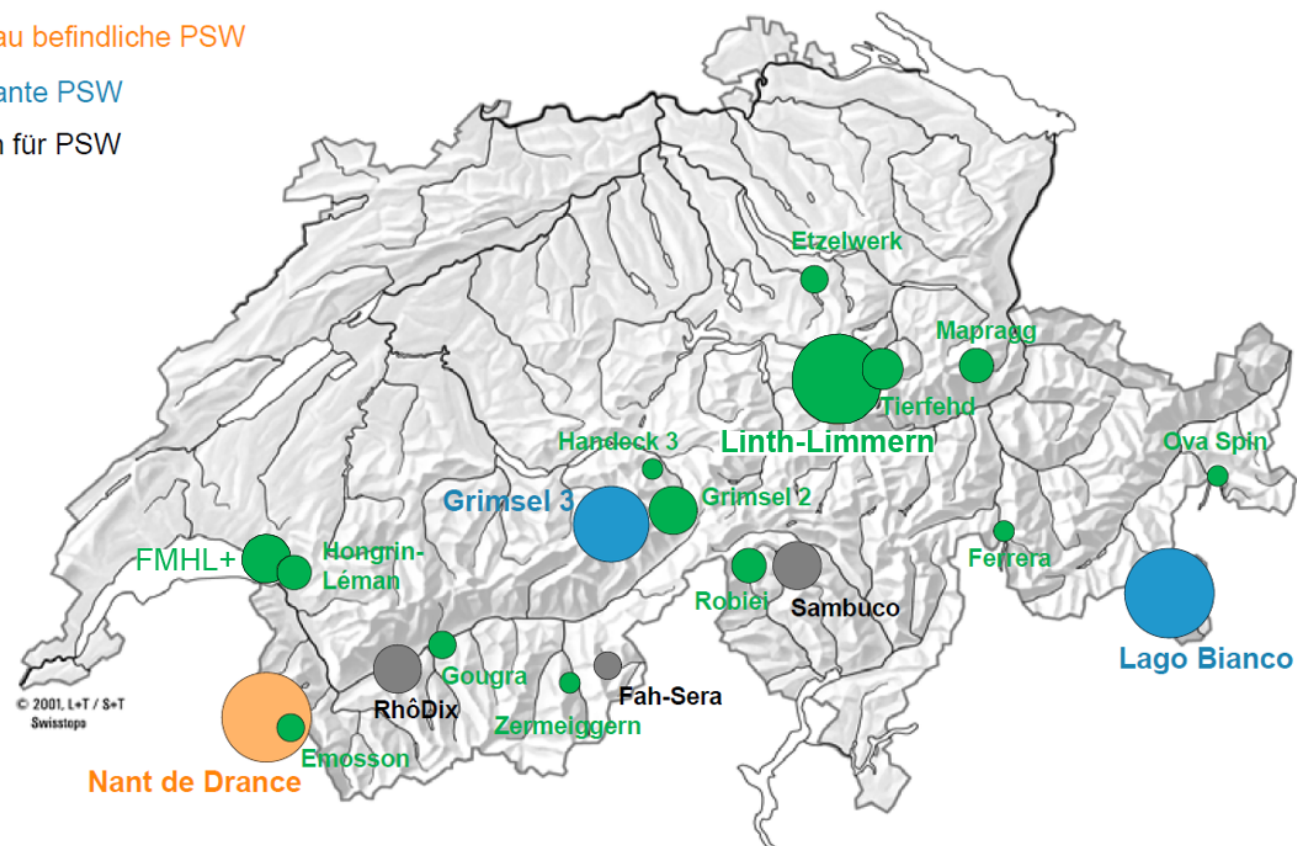
Bestand, Bau und Planung

Referenz	Pump- leistung [GW]	Anmerkungen, Projektamen
Bestand	2.74	21 PSW, davon 3 Umwälzwerke
im Bau	0.90	Nant de Drance
in Planung	1.66	Lago Bianco (1'000 MW), Grimsel 3 (660 MW)
Total	5.30	in ES 2050 berücksichtigt

Quelle: nach BFE (2014), aktualisiert 2017



- Bestehende PSW
- Im Bau befindliche PSW
- Geplante PSW
- Ideen für PSW



Quelle: nach Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband (2012) / Stettler (2011), aktualisiert 2017

Wasserkraftpotenziale in 2050 (bezogen auf 2018)

Ziel laut Energieperspektiven: 38.6 TWh/a

in TWh/a	Worst Case			Likely(?) case			Best case		
Potenzialstudie	BFE	SWV	ETHZ	BFE	SWV	ETHZ	BFE	SWV	ETHZ
Potenzial durch Effizienzsteigerungen, Aus- und Neubau	2.43*	1.5*	1.5*	3.25*°	4.0*°	5.5*	4.06*	6.5*	8.0*
Einbussen durch Restwasser (Pfam.&Semad. 2018)	-6.41	-6.41	-6.41	-3.65	-3.65	-3.65	-2.28	-2.28	-2.28
Total Wasserkraftpotenzial (gerundet)	-4.0	-4.9	-4.9	-0.4	0.4	1.9	1.8	4.7	5.7
Wasserkraftproduktion 2050§	31.9	31.0	31.0	35.4	36.3	37.8	37.7	40.6	41.6

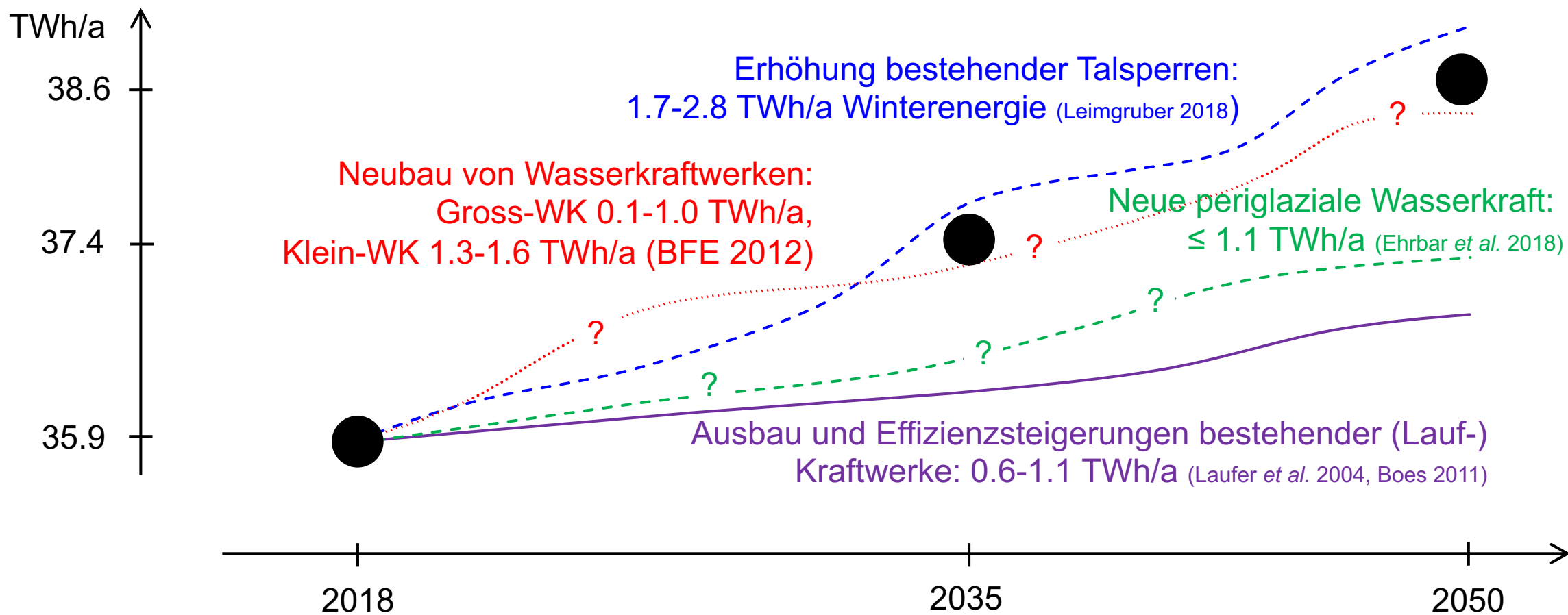
* 0.5 TWh/a zwischen 2012 und 2018 bereits realisiert (BFE Monitoring-Bericht 2018)

° Mittelwert zwischen den Szenarien «Heutige Nutzungsbedingungen» und «Optimierte Nutzungsbedingungen»

§ Basierend auf mittlerer Produktionserwartung von 35.9 TWh (Stand 1.1.2018) (BFE Monitoring-Bericht 2018)



Wasserkraftpotenzial Schweiz: Handlungsoptionen



Zusammenfassung und Schlussfolgerungen (1)

- Wasserkraft liefert **sowohl Grund- als auch Spitzenlast** und ist derzeit die **effizienteste Erzeugungs- und Speichertechnologie**
- WK ist die mit Abstand **klimafreundlichste Erzeugungsart**
- Seit Jahren muss im **Winterhalbjahr verstärkt Strom importiert** werden; mit dem Auslaufen der Kernkraft dürfte sich das noch verschärfen
- Neues **Speicherpotenzial, vor allem für das Winterhalbjahr, durch Gletscherschwund (periglaziale WK) und Erhöhungen bestehender Talsperren**
- **Ausbau und Effizienzsteigerungen bestehender (Lauf-)Kraftwerke bringen nur beschränkte Zusatzproduktion**

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen (2)

- **Sonstiges Ausbau- und Zubaupotenzial bei etwa 1.4 – 2.6 TWh/a** nur unter günstigen Randbedingungen
- **Ökologische Sanierung der WK mindert Produktion beträchtlich**, je nach Szenario um 6-18% der mittleren heutigen Produktionserwartung
- **Ziele ES 2050 nur mit starker WK erreichbar**
→ alle Handlungsoptionen zur Steigerung der WK nutzen, insbesondere Zubau von Speichern
- **Sektorkopplung** (Elektrizität, Wärme/Kälte, Verkehr und Industrie) wird voraussichtlich **starken Einfluss auf die Wasserkraft** haben