



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Swiss Federal Office of Energy SFOE

## Beitrag der Photovoltaik zur Stromversorgung im Winter

Lausanne, 13. März 2020, Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

1

## Inhalt

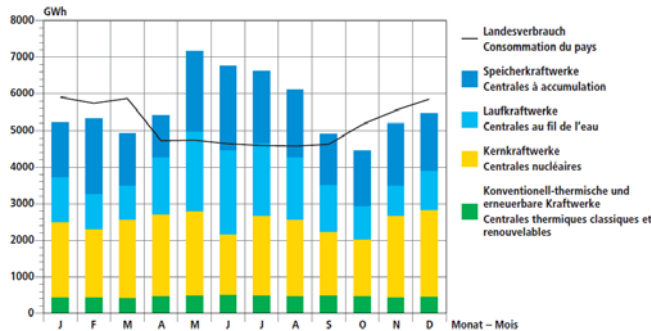
- Methodik
- Resultate
- Interpretationen
  - Einspeiseleistung
  - Empfehlungen
- Ausblick

2 Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

2

## Relevanz von Winterstrom



Quelle: BFE, Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2018

- Bestehender saisonaler Mismatch zwischen Stromverbrauch und Stromproduktion
- Verstärkende Faktoren in Zukunft
  - Wegfallen der Kernkraftwerke
  - Verschiebung von fossilen Heizungssystemen hin zu Wärmepumpen
  - PV und E-Mobility
- Abschwächende Faktoren in Zukunft
  - Kühlung wichtiger als Heizung
  - Massiver Rückgang Heizenergiebedarf

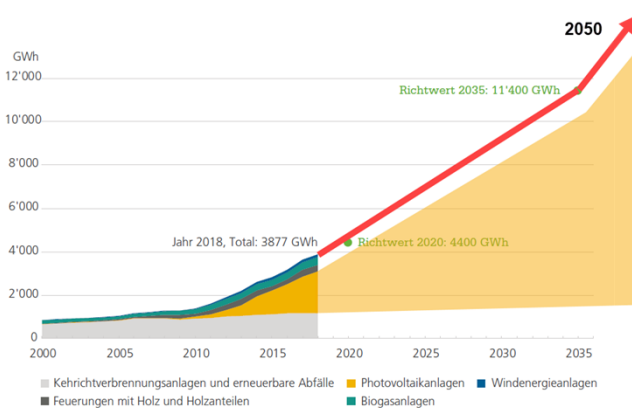
3

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

3

## Hintergrund der Winterstromstudie Photovoltaik



Quelle: BFE, Energiestrategie 2050, Monitoring-Bericht 2019

- Energiestrategie 2050 und der Beitrag von PV
- PV-Potential an Gebäuden in der Schweiz liegt bei ca. 67 TWh (50 TWh Dach und 17 TWh Fassade)
- Wirtschaftliches Potenzial liegt gemäss PSI-Studie<sup>1</sup> bei 30 TWh bis 2035
- Studie Winterstrombeitrag PV: **Ausbau auf 30 TWh**

<sup>1</sup> Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies

4

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

4

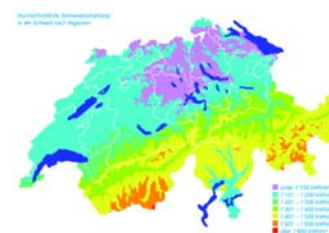
## Datengrundlagen Winterstromstudie PV

Die Studie wurde im Wesentlichen auf Basis der folgenden Daten erstellt:

- Daten aus Sonnendach und Sonnenfassade als Grundlage für das Potenzial (Flächen, Ausrichtung und monatliche Ertragsdaten) – insgesamt 8 Mio. Dach- und Fassadenflächen
- Einstrahlungswerte, Albedowerte und Temperaturen von Meteoschweiz (2004-2018)
- KEV-Monatserträge von ca. 1'000 Anlagen (2009 – 2016)



Quelle: sonnendach.ch (Olten)



Quelle: Swissolar

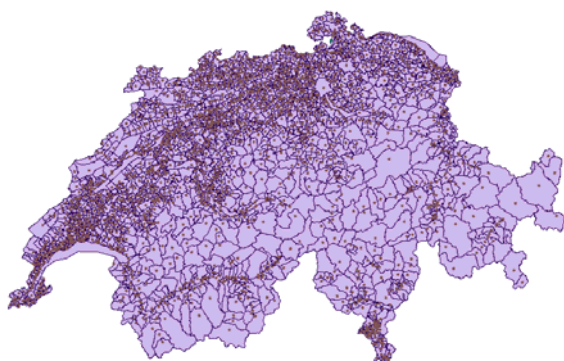
**Basler & Hofmann**

5

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

5

## Methodik – Datenaufbereitung



Quelle: Basler & Hofmann AG

- Geographische Auflösung der Berechnungen auf Gemeindeebene
- Zuordnung der 8 Mio. Dachflächen zu Referenzanlagen

Ausrichtung Kategorie	Bereich in Grad	Effektive Ausrichtung Referenzanlage	Neigung Kategorie	Effektive Neigung Referenzanlage
	Grad	Grad	Grad	Grad
E	67.5 – 112.5	90	0-5	3
SE	112.5 – 157.5	135	5-10	8
S	157.5 – 202.5	180	10-20	15
SW	202.5 – 247.5	225	20-30	25
W	247.5 – 292.5	290	30-40	35
N	292.5 – 67.5	0	40-50	45
			50-70	60
			70-90	80
			90	90

6

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

6

## Methodik – Schneebedeckung der PV-Anlagen

Winterstromstudie berücksichtigt die Schneebedeckung auf den Solaranlagen

- Modell entwickelt in Abhängigkeit der Modulneigung, Bodenalbedo und der Aussentemperatur
- Schneemodell validiert mit KEV-Ertragsdaten
- Schneemodell für Gesamtanlagenpark gut geeignet; für Einzelanlagen weniger geeignet



Quelle: <http://www.energy-mag.com>

7

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

7

## Definition der untersuchten Hauptszenarien

- **Szenario 1 «Zubau wie bisher (ZWB)» (30 TWh)**
  - Heutiger Anlagenpark skaliert auf das Potenzial von 30 TWh
  - Vor allem Flachdächer und leicht geneigte Dächer
- **Szenario 2 «maximales Winterstrompotenzial (MWP)» (30 TWh)**
  - Flächen belegt mit dem höchsten Ertrag im Winterhalbjahr
  - Stärker geneigte Dächer und Fassade
- **Szenario 3 «Anreize Winterstrom (AWS)» (30 TWh)**
  - Setzen von realistischen Anreizen für mehr Winterstromproduktion
  - Stärker geneigte Dachanlagen und Aufständering auf Flachdächern
  - Erhöhte Nutzung von PV in der Fassade (3 TWh)

8

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

8

## Ergebnis

### PV-Produktionsprofile

- Örtliche Auflösung: pro Gemeinde → (2249 Gemeinden)
- Zeitliche Auflösung: Stundenwerte der letzten 15 Jahre (2004 – 2018)
- Ausrichtung/Neigung: 54 verschiedene Referenzprofile (9 Neigungen, 6 Ausrichtungen) für jede Gemeinde
- Produktionsprofile berücksichtigen Schneebedeckung

→  $54 \cdot 2249 = 121'446$  Produktionsprofile (ca. 98'400 davon relevant)



Quelle: Basler & Hofmann, Winterstromstudie Photovoltaik

**Basler & Hofmann**

9

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

9

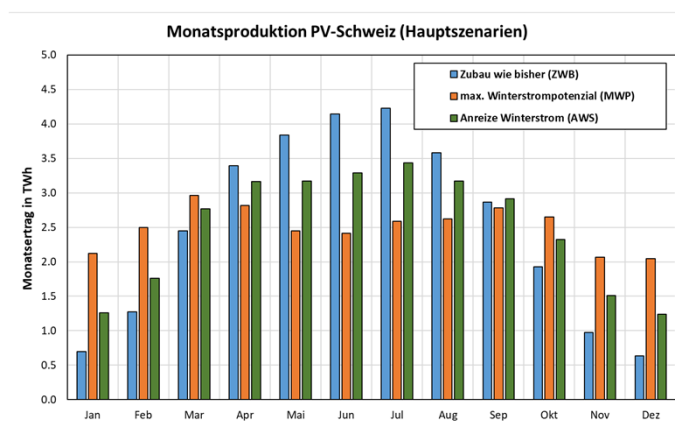
## Resultate Hauptszenarien – monatliche Energieproduktion

### Produktion Winterhalbjahr

- ZWB: 26% (7.9 TWh)
- MWP: 48% (14.3 TWh)
- AWS: 36% (10.9 TWh)

### Produktion Wintermonate Jan/Feb/Dez

- ZWB: 9% (2.6 TWh)
- MWP: 22% (6.7 TWh)
- AWS: 14% (4.3 TWh)



Quelle: Basler & Hofmann, monatliche Energieproduktion der untersuchten Hauptszenarien

**Basler & Hofmann**

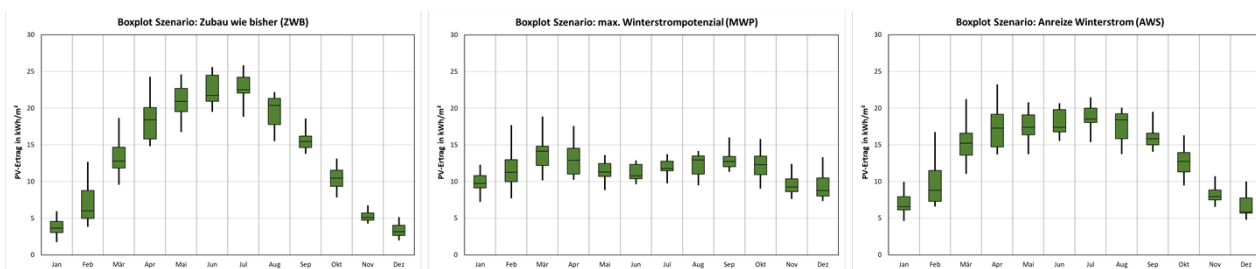
10

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

10

## Resultate Hauptszenarien – jährliche Streuung Monatserträge

- Analyse über 15 Jahre (2004 – 2018)
- Monatliche Erträge können gegenüber dem Median hohe Abweichungen aufweisen (insbesondere in der Übergangszeit)
- Geringere prozentuale Abweichung in den Sommermonaten



11

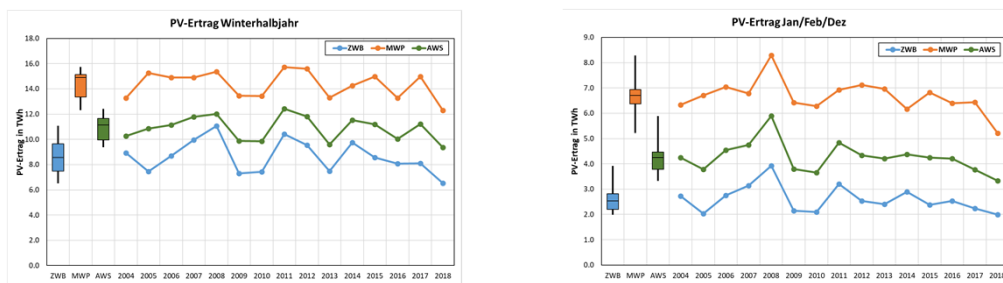
Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

Basler &amp; Hofmann

11

## Resultate Hauptszenarien – Schwankung Winterstromproduktion

- Winterhalbjahr
  - ZWB: +/- 30% gegenüber Median
  - MWP: +/- 15% gegenüber Median
  - AWS: +/- 15% gegenüber Median
- Wintermonate Jan/Feb/Dez
  - ZWB: +/- 45% gegenüber Median
  - MWP: +/- 25% gegenüber Median
  - AWS: +/- 40% gegenüber Median



12

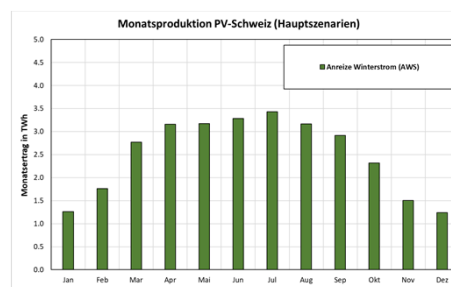
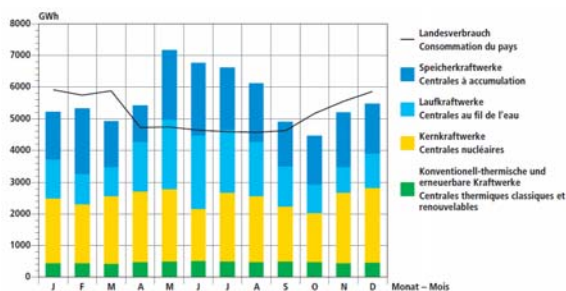
Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

Basler &amp; Hofmann

12

## Vergleich Anreizszenario mit Produktion / Verbrauch 2018

- PV-Produktion auf Monatsbasis ähnlich wie Wasserkraft
- PV-Produktion des Winterhalbjahrs entspricht im Anreizszenario (10.9 TWh) in etwa der Produktion der Kernkraftwerke (10.2 TWh im Jahr 2017/2018)



13

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

Basler &amp; Hofmann

13

## Resultate Hauptszenarien – Kostenbetrachtung

- Ökonomische Betrachtung mit Referenzpreis von 1'200 CHF/kWp
- Preisauflage für aufgeständerte Flachdächer (5-10%), Fassade (20%), Bergregionen (10%)
- Anreizszenario hat geringe Auswirkungen auf Stromgestehungskosten

	ZWB	MWP	AWS
Stromgestehungskosten Rp./kWh	6.47	8.30	6.88
Gesamtkosten Mrd. CHF	38.8	49.8	41.3
Differenz gegenüber ZWB		+30%	+6%

14

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

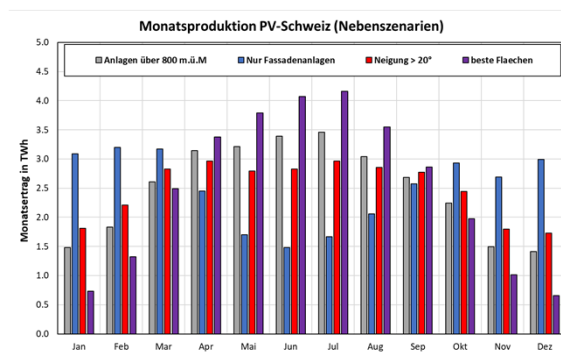
Basler &amp; Hofmann

14



## Nebenszenarien

- Anlagen über 800 m ü. M.
  - Begrenztes Gesamtpotential von 9 TWh
  - 37% im Winterhalbjahr (ähnlich wie AWS)
- Nur Fassadenanlagen
  - Begrenztes Gesamtpotential von 17 TWh
  - 60% im Winterhalbjahr
- Stark geneigte Anlagen
  - Schrägdächer und stärkere Aufständigung auf Flachdächern (25°)
  - 43% im Winterhalbjahr



Quelle: Basler & Hofmann, monatliche Energieproduktion untersuchter Nebenszenarien

15

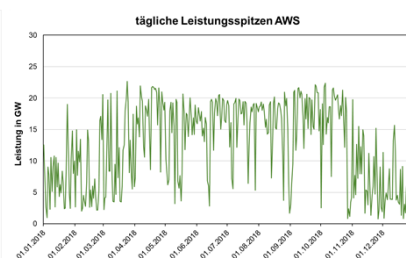
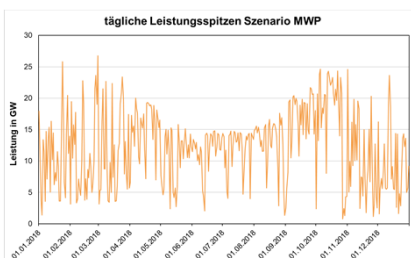
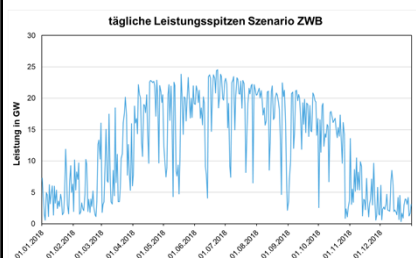
Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

15

## Hauptszenarien – Leistung

- ZWB: Leistungsspitzen im Sommer (31 GWp installiert)
- MWP: Leistungsspitzen im Frühling/Herbst (36 GWp installiert)
- AWS: Leistungsspitzen von Frühling bis Herbst ähnlich hoch (31 GWp installiert)



Quelle: Basler & Hofmann, tägliche Leistungsspitzen der Hauptszenarien

16

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

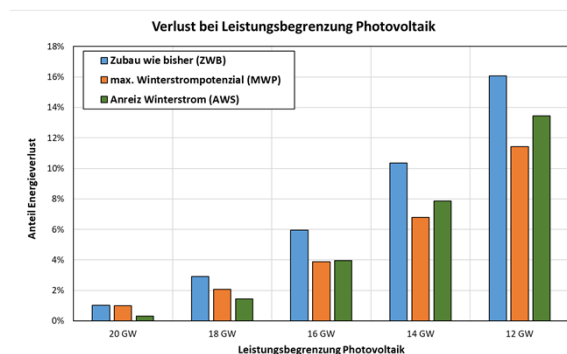
**Basler & Hofmann**

16



## Einspeisebegrenzung

- Höchstleistung der Kraftwerke Schweiz 2018 bei ca. 13 GW
  - Wird die max. PV-Leistung auf 20 GW begrenzt, ergeben sich ca. 1% Ertragsverlust
  - Wird die max. PV-Leistung auf 16 GW begrenzt, ca. 4-6% Ertragsverlust
- Leistungsbegrenzung wirkt sich bis zu einem gewissen Grad nur gering auf den energetischen Ertrag aus



Quelle: Basler & Hofmann, Auswirkungen Einspeisebegrenzung auf Energieerträge

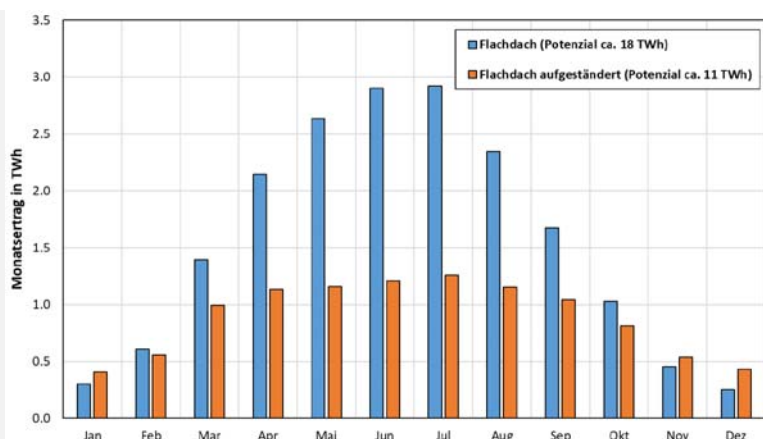
17

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

17

## PV-Anlagen auf Flachdächern: Aufständern oder nicht?



- Flachdach horizontal: 18 TWh

- Flachdach aufgeständert: 11 TWh

Erkenntnis: 5% des Mehrertrags im Sommer (flach) entsprechend dem Mehrertrag im Winter (geneigt).

18

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

18

## Alternativen zur Leistungsbegrenzung

### – Elektromobilität

- Elektromobilität hat im Jahr 2050 einen Verbrauch von ca. 6 TWh
- Ist die Hälfte der täglichen Ladeenergie flexibel einsetzbar, ergibt sich eine nutzbare Energiemenge für Lastmanagement von ca. 8 GWh pro Tag mit hoher Ladeleistung bei Bedarf

### – Viel Leistung, begrenzte Energiemenge

→ Auf Tagesbasis sind hohe PV-Anteile in den Griff zu bekommen.

### – Pumpspeicherkraftwerk

- Bis 2050 eine verfügbare Leistung von ca. 4 GW
- Bei 12 h-Dauerbetrieb Energiemenge von ca. 50 GWh für Zwischenspeicherung
- **Viel Energie, begrenzte Leistung**

19

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

Basler &amp; Hofmann

19

## Offene Fragestellungen

- Überschuss im Sommer speichern oder mehr Winterstrom produzieren?
- Speicherkraftwerke bei sommerlichem PV-Überschuss anders betreiben?
- Szenarien zur Versorgungssicherheit
  - Welche Über- oder Unterdeckung ergibt sich mit Ausbau Photovoltaik?
  - Welche Netzengpässe entstehen wo?
  - Einbindung von Speicherkapazitäten, insb. Pumpspeicherkraftwerke
- Entwicklungsszenarien Photovoltaik
  - Energiestrategie 2050 → 10, 20, 30, 40, 50 TWh?

20

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

Basler &amp; Hofmann

20

## Projektbeispiel: PV Alpin VERTIKAL & BIFAZIAL



Tamás Szacsavay, reech gmbh


P&D-Projekt:  
Entwicklung und  
Erprobung einer  
neuartigen und  
wintertauglichen PV-  
Systemtechnik für den  
alpinen Raum mit  
vertikal  
aufgeständerten Bi-  
fazial-Modulen

21

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

21

 Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra  
  
Bundesamt für Energie BFE  
Swiss Federal Office of Energy SFOE

**Christof Bucher, Basler & Hofmann**  
christof.bucher@baslerhofmann.ch, +41 44 387 13 80

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

Basler & Hofmann, Lausanne

22

Winterstrom PV-Tagung Lausanne | 13.03.2020 | Christof Bucher

**Basler & Hofmann**

22