# Informed citizen panels on the Swiss electricity future

**Prof. Evelina Trutnevyte** G. Xexakis, A. Dubois, S. Holzer, J. Cousse, R. Hansmannm, S. Volken

21 November 2022, PATHFNDR Lunch Seminar

UNIGE

Fonds

Innovation

RES

SWEET swiss energy research for the energy transition

PATHENDR

# How could and should the Swiss electricity mix 2035 look like?





Figure: adapted from Energy Strategy 2050



## The first challenge







### The second challenge (I)



Stimmen Sie dem Ausbau folgender Möglichkeiten, um den Strombedarf in der Schweiz im Jahr 2035 zu decken, zu oder nicht?

	Stimme gar nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme eher nicht zu	Neutral	Stimme eher zu	Stimme zu	Stimme sehr zu	Weiss nicht/kenne ich nicht
Wasserkraftwerke	0	0	0	0	0	0	0	0
Solarzellen (Photovoltaik)	0	0	0	0	0	0	0	0
Windkraftwerke	0	0	0	0	0	0	0	0
Tiefengeothermieanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogasanlagen	0	0	0	0	0	0	0	0
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	0	0	0	0	0	0	0	0
Biomassekraftwerk (Holz)	0	0	0	0	0	0	0	0
Erdgaskraftwerke	0	0	0	0	0	0	0	0
Atomkraftwerke	0	0	0	0	0	0	0	0
Strombedarf senken (durch Verhaltensänderungen und effizientere Technologien)	0	0	0	0	0	0	0	0
Stromimporte aus dem Ausland	0	0	0	0	0	0	0	0



Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology





### The second challenge (II)





Source: Volken et al. (2017) Journal of Risk Research



### Methodology: informed citizen panels



Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology



**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 

### **Technology factsheets**

#### Grosse (Pump-)

Speicherwasserkraftwerke

**Heutige Situation** 

Zukünftige Situation

nur 7 Millionen kWh.

\*8

4

0

Speicherwasserkraftwarke speichern in grosser Seen Schmelzwasser aus den Bergen, sowie Quell-Fluts- oder Regenwasser, Wasser, das in einen tieferliegenden, zweiten See oder Fluss geleitet wird, treibt eine Turbine (ein Wasserrad) an, welche Strom erzeugt. Einfache Stauseen erzeugen auf diese Weise Strom. Pumpspeicherwasserkraftw höhergelegenen Staudamm gepumpt. Wird me

Mehr als 80 grosse Staudämme erzeug

der Schweizer Stromerzeugung). Dies

Die zusätzliche Menge Strom, welche i

Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeutt ein durchschnit

Millionen kWh Strom (für ca. 30'000 H

Grosse Staudämme stossen während o

Klimawandel beeinflussen. Über den g

Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Grosse Staudämme stossen während

erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der

bestehender Kraftwerke erzeugt werd

on 2.6 Millionen Haushalten. Diese Staudamm

Milliarden kWh jährlich geschätzt (d.h. für 1001

heute 87 bis 96% ihres gesamten Potenzials für

Bieudron Staudamm im Wallis 1.8 Milliarden kV

Einfluss auf den Klimawandel

Herstellungsweg eingerechnet, besonders der

Staumauern, dann entweichen 50 Millieramm F

verschmutzung durch Schwefeldioxid (SO-) und

Regen beiträgt, ist über den gezamten Herstelle

**Finfluss auf Gewässer** 



dienen. Dazu wird das Wasser mit überschüssig Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung Wasser hinuntergelassen und wiederum Strom Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein grosses

Speicherkraftwerk bis zu 4'100 m<sup>2</sup> Land. um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Eliche wird heim Bau des Damms überflutet. Ein den Bau neuer Kraftwerke wird in der Schweiz selten fruchtbares Land überflutet oder die Bevölkerung umgesiedelt. Den Einfluss auf die Landschaft zeigt das Bild auf der anderen Seite.

**Einfluss auf Tiere und Pflanzen** 

Ø Beim Bau von Staudämmen werden grosse Landflächen überflutet, was einer negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen hat. Dieser Einfluss kann besonders hoch sein, wenn die Dämme an unbesiedelten Orten mit hoher Tier- und Pflanzenvielfalt gehaut werden. Der veränderte Wasserabfluss ober- und unterhalb der Kraftwerke beeinflusst auch die Lebensräume und Wanderwege von Wassertieren.

Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Speicherkraftwerke in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 3'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein tynischer Unfall kann zu vielen Todesonfern und grossen wirtschaftlichen Schäden führen. Beispielsweise führte der Vaiont Unfall in Italien 1963 zu einschliesslich des Baus der Staumauern, entwi 2'600 Todesopfern und etwa 140 Millionen CHF wirtschaftlichen Schaden.

#### Robstoffe und Abfälle

Wasserkraft wird als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.1 kWh nicht-erneuerbare Energie, zum Beispiel für den Transport von Rohstoffen für den Bau der Staumauern. Die Erzeugung von 1 kWh Strom aus Staudämmen führt zudem zu 310 Milligramm Feststoffabfällen, besonders während des Baus und des Rückbaus der Dämme Diese Abfälle sind grösstenteils ungiftig

#### Stromkosten ۲

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftw Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Speicherkraftwerken schwanken Stromerzeugung, Jedoch verbrauchen heute zwischen 3 und 7 Rp. pro kWh. Für die Zukunft wird ein Anstieg auf kleine Mengen Wasser durch Verduristung aus mindestens 8 Rp. pro kWh erwartet. Für neu gebaute Kraftwerke kann dieser Preis noch beeinflusten vor allem den natürlichen Abfluss höher sein, da der Bau hohe Investitionskosten fordert.

#### Versorgungssicherheit

Ô Grosse Staudämme sind eine zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung, Insbesondere können Staudämme saisonale Unterschiede auspleichen, da das Wasser über Monate hinweg in den Stauseen gespeichert werden kann bis mehr Strom benötigt wird. Pumpspeicherkraftwerke können sogar Strom speichern. Basierend auf den durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlägen in einem Jahr, kann sich die Stromerzeugung mit Speicherkraftwerken von Jahr zu Jahr unterscheiden.

#### Solarzellen (Photovoltaik)

Solarzellen (Photovoltaik) hestehen aus mehreren dünnen Platten aus leitfähigem Metall oder einem Halbleiter, wie Silizium. Die Platte nimmt durch den sogenannten photoelektrischen Effekt Sonnenlicht auf und eiht Elektronen ab, die als Strom eenutzt werden. Entsprechend der Menge einfallenden Sonnenlichts wird mehr oder weniger Strom



Solarzellen (Photovoltaik)

**Einfluss auf Tiere und Pflanzen** 

Unfälle und Risiken

Solarzellen in Japan 2014 zu 2 Todesopfern.

Rohstoffe und Abfälle

Stromkoster

10

Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung

Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet brauchen Solarzellen

brauchen möglicherweise Fläche, die für andere Zwecke genutzt werden könnte. Das Bild

auf Dächern und an Fassaden benötigen nur für den Abbau von Rohstoffen und die

Herstellung der Solarzellen etwas Land. Grosse "Solarfarmen" im Industriemassstab

(Photovoltaik) etwa 300 m<sup>2</sup> Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Anlagen

Purch Salamallan (Photosoltaik) auf Maurdächer und an Escaden nehen keine

Luftverschmutzung an den Orten im Ausland, wo die Verarbeitung stattfindet, hat ebenfalls

einen negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen, zum Beispiel durch sauren Regen und

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Solarzellen in entwickelten Ländern, wie der

Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der

Anlagen, Beisnielsweise führte eine Faplosion in der Silzium Verarbeitungsanlage für

nicht-erneuerbare Energie für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der

problematisch sein kann, besonders durch unsachgemässe Entsorgung der Solarzelle

Solarzellen, Solarzellen benötigen auch seltene Metalle, die global begrenzt sind. Über die

Abfallmenze eibt es wenige verlässliche Daten. Der Feststoffabfall ist teilweise eiftig was

Die Kosten für die Gromerneusung mit Solarkraftwerken schwanken heute

Schweiz, extrem niedrig, Im Durchschnitt kommt auf 36'000 Milliarden kWh

zeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Linfall führt zu relativ geringen wirtschaftlicher

Solarzellen werden als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den

gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0.3 kWh

Lebensräume von Tieren und Pflanzen verloren. Durch Grössere "Solarfarmen" auf

erzeugt. Finzelne Zellen können beliebig zusammengehängt werden. So sieht man wenige Platten auf Hausdächern oder an Fassaden für den Eigenge

"Solarfarmen" im Industriemassstab, auf ungenutzten Fläch **Heutige Situation** Über 100'000 Anlagen in der Grösse eines Hausda

Strom pro Jahr (1.6 % der Schweizer Stromerzeug jährlichen Stromverbrauch von 150'000 Haushalten. Die Sol Schweiz verteilt, hauptsächlich auf Dächern von Wohnhäus-**Zukünftige Situation** Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue 1

auf der anderen Seite zeigt eine typische Anlage. werden kann, wird auf 5 bis 17 Milliarden kWh jah Ø his 2.4 Millionen Haushalte). Die Schweit nützt heute 6 his 1 für Solarzellen reiflächen, würden teilweise Lebensräume verloren gehen. Zusätzlich wird für den Abbau

Grösse eines einzelnen Kraftwerks Ein Dach eines Wohnhauses mit Solarzellen erzeuz

von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen Land gebraucht. Lokale Strom letwas mehr als ein einzelner Haushalt lähr "Solarfarmen" erzeugen durchschnittlich 300'000 kWh (für Einfluss auf den Klimawandel

Solarzellen (Photovoltaik) stossen während dem Bi die den Klimawandel beeinflussen. Wird der gesan eingerechnet, besonders der Abbau von Rohstoffen und die entweichen 81 Gramm CO2ng pro kWh erzeugtem Strom

Einfluss auf die lokale Umgebungsluft Solarzellen (Photowoltail) stocsen während dem B die zu erhöhten Gesundheiturisiken in der Nähe de gesamte Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Abb

Herstellung der Solarzellen, dann entweichen 210 Milligram Strom. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg tritt lei Schwefeldioxid (SO2) und Stickoxiden (NO2) auf, die zu Smoj Einfluss auf Gewässer 0 Solarzellen (Photovoltaik) verbrauchen während di

Wasser, Nur für die Reinigung werden kleine Menu anzanten Herstellungswag hinwagpacehan hen/hist die He erhebliche Mengen Wasser. Es wird jedoch erwartet, dass d Zukunft abnimmt

zwischen 15 und 37 Rp. pro kWh. Der Bau der Kraftwerke erfordert relativ hohe nskosten, während die Kosten für den Betrieb verzleichsweise gering sind. Die Kosten sind in den letzten 10 Jahren stark gesunken. Für die Zukunft wird ein Rückgang der Kosten auf bis zu 7 bis 12 Rp. pro kWh enwartet

#### Versorgungssicherheit

Ŷ Solarzellen (Photovoltaik) sind eine lokal verfügbare, jedoch unstabile und unflexible Art der Stromerzeugung. Da die Stromerzeugung direkt von der onneneinstrahlung abhängt, gibt es Tag-Nacht sowie saisonale Schwankungen. Diese Tag-Nacht Schwankungen können durch angeschlossene Batterien teilweise ausgeglichen



One for each technology, 30 pages in total (Download at Zenodo in French, German or English)

Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology

#### er negativer Einflus lerer negativer Einfluss Inkale Indichal inger negativer Einfluss Tiere und Unfälle und Rohstoffe Klima Umpe-Gewässer und Bodenwandel Pflanzen Risiken und Abfälle kosten inin oder sehr geringe bungsluft nutrune nextiner Einflund Grosse (Pump-Speicherwasserkraftwerk George taufauxcerkraftworks Eleinwasserkraftwerk Atomkraftwerke Solarzeller (Photovoltaik) Windkraftwerk Defengeothermis anlagen Erdgaskraftwerke **Biomassekraftwerk** (Holz) Biogasanlagen Kehrichtverhennungs anlagen Stromimporte aus dem Ausland Steamhedar

whoher negativer Enfluss

sectors





0

Versor

gungs-

sicherheit





Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology



### **Interactive online-tool Riskmeter**



riskmeter.ch

Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology







#### **RENEWABLE ENERGY SYSTEMS**

### Informed citizen panel in Geneva

#### • N=33

Source: Dubois et al. (2020) Energies

- Recruited to represent diversity in initial technology preferences
- Socio-demographic characteristics:
  - A little younger than the Swiss average: 32.0 years old on average (CH: 42.2 years)
  - Representative in terms of gender: 50% female (CH: 51%)
  - More educated: 72% finished a high school (CH: 41%), 44% had a Bachelor degree (CH: 17%)







# To what extent do you agree with further development of these electricity technologies in Switzerland to 2035?



**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 



### Informed citizen panels in Zurich

- N=46
- Recruited to represent diversity in initial technology preferences
- Socio-demographic characteristics:
  - A little older than the Swiss average: 18-77 years, 42.1 years on average (CH: 41.4 years)
  - Representative in terms of gender: 50% female (CH: 50.9%)
  - More educated: 66.7% finished a gymnasium (CH: 40.9%), 40.0% had a Bachelor degree (CH: 16.9%)











# To what extent do you agree with further development of these electricity technologies in Switzerland to 2035?



Source: Volken et al. (2018) Environmental Science & Technology

**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 



14

## **Average preferred electricity mix 2035**



Source: Dubois et al. (2020) Energies









**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 

D436

ns



## Average preferred electricity mix of the panel



RENEWABLE ENERGY SYSTEMS



### **Back to the first challenge**



Existing model-based electricity scenarios for 2035 (18 studies, 80 scenarios)



VS.



Source: Xexakis et al. (2020) Renewable and Sustainable Energy Reviews



### **Elicitation of the preferred mix 2035**





riskmeter.ch

Samples	Ν	Method			
Citizens (uninformed)	61	Online survey			
Informed citizens	46+33	Workshops from Zurich and Geneva			
Swiss energy experts	60	Online survey			

Source: Xexakis et al. (2020) Renewable and Sustainable Energy Reviews



### Modeled scenarios vs. preferred scenarios (I)



Source: Xexakis et al. (2020) Renewable and Sustainable Energy Reviews



**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 

#### Model-based scenarios vs. preferred scenarios (II)



Source: Xexakis et al. (2020) Renewable and Sustainable Energy Reviews



**RENEWABLE ENERGY SYSTEMS** 



## Summary

- Preferences of informed citizen panels differ from those in conventional surveys, especially for new technologies, where stable opinions do not exist yet
- We found high and stable support for most new renewable technologies ٠ and efficiency in Switzerland and low support for nuclear power, fossil fuel plants, and net electricity import
- Even if there were over 80 electricity supply scenarios in Switzerland at the time, there was no scenario that would represent the future preferred by the citizens. Switzerland is not an exception though
- Work in PATHFNDR to be done on informed citizen panels on flexibility, sector coupling, and net-zero emissions system



SWEET swiss energy for the energy

PATHFNDR





Please get in touch with questions and comments!



#### Prof. Evelina Trutnevyte Renewable Energy Systems, University of Geneva

Email: <u>evelina.trutnevyte@unige.ch</u> Website: <u>www.unige.ch/res</u> Twitter: @etrutnevyte



