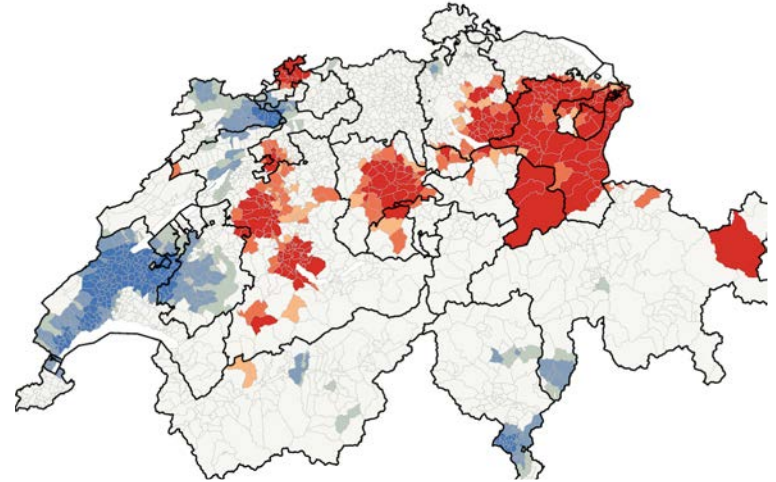


Swiss electricity mix 2035: bridging energy modelling and public preferences



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



13 September 2018, SCCER-SoE Annual Conference, Horw

How could and should the future Swiss electricity mix look like?

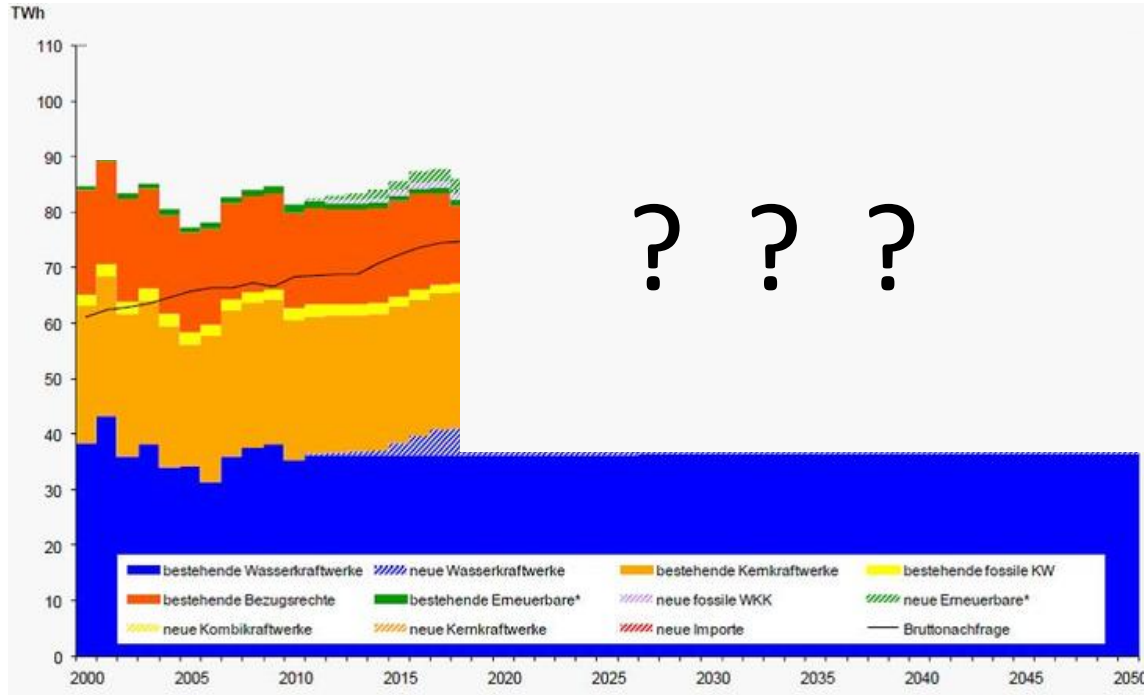


Figure: adapted from Energy Strategy 2050

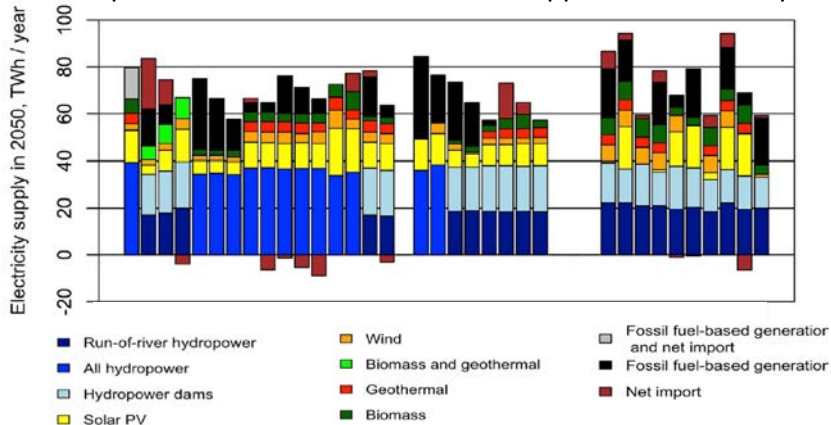
The first challenge

Electricity scenarios from 2014

Our scenarios

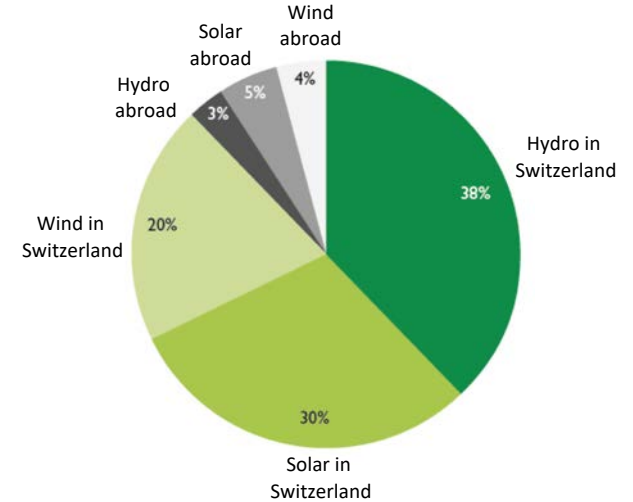
Densing et al. 2016 *Energy*

Berntsen Trutnevte 2017 *Energy*



VS.

How the goal of 11.4 TWh should be reached? % of respondents (N=1'019)



Consumer Barometer 2018, University of St. Gallen

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	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Solarzellen (Photovoltaik)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Windkraftwerke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Tiefengeothermieranlagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biogasanlagen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Biomassekraftwerk (Holz)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Erdgaskraftwerke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Atomkraftwerke	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Strombedarf senken (durch Verhaltensänderungen und effizientere Technologien)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Stromimporte aus dem Ausland	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>



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

The second challenge (II)

“Enhanced Geothermal System...
they can install that at your house, right?” [ID_10]

„Yes, it could lead to a small vulcanic eruption“ [ID_7]

“Are there power plants that work with natural gas?
Really?” [ID_9]

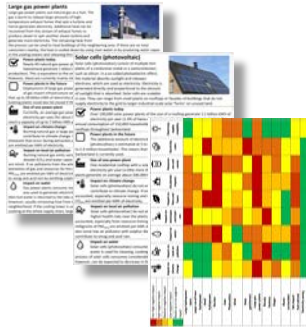

“Biomass, I don’t know that at all” [ID_5]

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

Methodology: an informed citizen panel

At home

Read
technology
factsheets



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

Technology factsheets

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke
 Speicherwasserkraftwerke speichern in grossen Seen Schmelzwasser aus den Bergen, sowie Quell-, Fluss- oder Regenwasser. Wasser, das in einen unterirdischen, zweiten See oder Fluss geleitet wird, treibt eine Turbine (ein Wasserrad) an, welche Strom erzeugt. Einfache Staustäunen erzeugen auf diese Weise Strom. Pumpspeicherwasserkraftwerken. Dazu wird das Wasser mit überschüssiger höhergelegener Staustäunen gepumpt. Wird im Wasser hinuntergelassen und wiederum Strom erzeugt.



Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke

Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung
 Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein grosses Speicherkraftwerk bis zu 4'100 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Am meisten Fläche wird beim Bau des Damms überflutet. Für 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.

Heutige Situation

Mehr als 80 grosse Staustäunen erzeugen der Schweizer Stromerzeugung. Dies sind 2,6 Millionen Haushalte. Diese Staustäunen

Zukünftige Situation

Die zusätzliche Menge Strom, welche bestehender Kraftwerke erzeugt wird, wird heute 87 bis 96% ihres gesamten Potenzials für

Grösse eines einzelnen Kraftwerks

In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Millionen kWh Strom (für ca. 300'000 Einwohner im Wallis 1,8 Milliarden kWh nur 7 Millionen kWh).

Einfluss auf den Klimawandel

Grosse Staustäunen stossen während Klimawandel beeinflusst. Über dem eingeschätzten des Baus der Staustäunen, erster Strom.

Einfluss auf die lokale Umgebungsluft

Grosse Staustäunen stossen während erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Staustäunen, dann entstehen 50 Milligramm Verschmutzung durch Schwermetalle (SO₂) und Regen bezieht, ist über den gesamten Herstell

Einfluss auf Gewässer

Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke Stromerzeugung. Jedoch verbrauchen kleinere Mengen Wasser durch Verdunstung zu beeinflussen vor allem den natürlichen Abfluss

Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Speicherwerken schwanken heute zwischen 3 und 7 Rp. pro kWh. Für die Zukunft wird ein Anstieg auf mindestens 8 Rp. pro kWh erwartet. Für neu gebaute Kraftwerke kann dieser Preis noch höher sein, da der Bau hohe Investitionskosten fordert.

Versorgungssicherheit

Grosse Staustäunen sind eine zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung. Insbesondere können Staustäunen saisonale Unterschiede ausgleichen, da das Wasser über Monate hinweg in den Staustäunen gespeichert werden kann, bis mehr Strom benötigt wird. Pumpspeicherwerke können sogar Strom speichern. Basierend auf den durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlag in einem Jahr, kann sich die Stromerzeugung mit Speicherwerken von Jahr zu Jahr unterscheiden.

Solarzellen (Photovoltaik)

Solarzellen (Photovoltaik) bestehen aus mehreren dünnen Platten aus leitfähigem Metall oder einem Halbleiter, wie Silizium. Die Platte nimmt durch den sogenannten photoelektrischen Effekt Sonnenlicht auf und gibt Elektronen ab, die als Strom genutzt werden. Entsprechend der Menge einfallenden Sonnenlichts wird mehr oder weniger Strom erzeugt. Einzelne Zellen können beliebig zusammenhängend



wohnen. So sieht man weniger

Solarzellen (Photovoltaik)

Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung
 Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet brauchen Solarzellen (Photovoltaik) etwa 300 m² Land, um 1 Million kWh Strom zu erzeugen. Anlagen auf Dächern und an Fassaden benötigen nur für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen etwas Land. Grosse „Solarfarmen“ im Industriemassstab brauchen möglicherweise Fläche, die für andere Zwecke genutzt werden könnte. Das Bild auf der anderen Seite zeigt eine typische Anlage.

Einfluss auf Tiere und Pflanzen

Durch Solarzellen (Photovoltaik) auf Hausdächern und an Fassaden gehen keine Lebensräume von Tieren und Pflanzen verloren. Durch Grosse „Solarfarmen“ auf Freiflächen, werden teilweise Lebensräume verloren gehen. Zusätzlich wird für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen Land gebraucht. Lokale 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 Feinstaub.

Unfälle und Risiken

Das Risiko schwerer Unfälle ist für Solarzellen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 30'000 Milliarden kWh erzeugten Strom ein Todesfall. Ein typischer Unfall führt zu relativ geringen wirtschaftlichen Schäden und einer geringen Anzahl Todesopfer, aufgrund der beschränkten Grösse der Anlagen. Beispielsweise führte eine Explosion in der Silizium-Verarbeitungsanlage für Solarzellen in Japan 2014 zu 2 Todesopfern.

Rohstoffe und Abfälle

Solarzellen werden als erneuerbare Art der Stromerzeugung verstanden. Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, benötigt 1 kWh Strom dennoch 0,3 kWh nicht-erneuerbare Energie für den Abbau von Rohstoffen und die Herstellung der Solarzellen. Solarzellen benötigen auch seltene Metalle, die global begrenzt sind. Über die Abfallmenge gibt es wenige verlässliche Daten. Der Feinstoffabfall ist teilweise giftig, was problematisch sein kann, besonders durch unsachgemässe Entsorgung der Solarzellen.

Stromkosten

Die Kosten für die Stromerzeugung mit Solaranlagen schwanken heute zwischen 15 und 37 Rp. pro kWh. Der Bau der Kraftwerke erfordert relativ hohe Investitionskosten, während die Kosten für den Betrieb vergleichsweise gering sind. Die Kosten sind in den letzten 10 Jahren stark gesunken. Für die Zukunft wird ein Rückgang der Kosten auf bis zu 12 Rp. pro kWh erwartet.

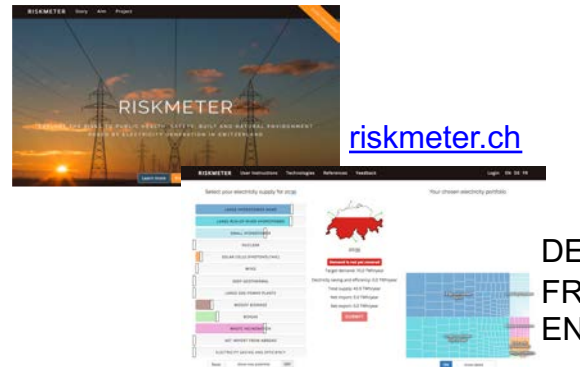
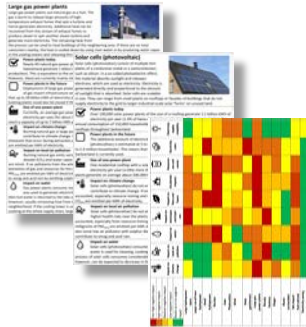
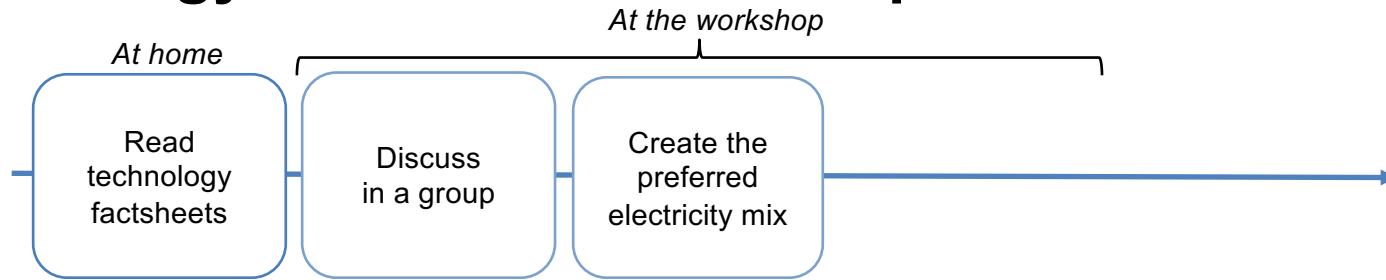
Versorgungssicherheit

Solarzellen (Photovoltaik) sind eine lokal verfügbare, jedoch instabile und unflexible Art der Stromerzeugung. Da die Stromerzeugung direkt von der Sonneneinstrahlung abhängt, gibt es Tag-Nacht sowie saisonale Schwankungen. Diese Tag-Nacht-Schwankungen können durch angeschlossene Batterien teilweise ausgeglichen werden. Anpassen muss der Betrieb der übrigen Kraftwerke im Stromnetz angepasst werden, um die Schwankungen auszugleichen zu können.

	Klimawandel	lokale Umgebungsluft	Gewässer	Landchaft und Bodennutzung	Tiere und Pflanzen	Unfälle und Risiken	Reststoffe und Abfälle	Stromkosten	Versorgungssicherheit
Sehr hoher negativer Einfluss	🔥								
Hoher negativer Einfluss	🔥								
Mittlerer negativer Einfluss	🔥								
Geringer negativer Einfluss	🔥								
Kein oder sehr geringer negativer Einfluss	🔥								
Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke	🔥								💡
Laufwasserkraftwerke	🔥								💡
Kleinwasserkraftwerke	🔥								💡
Atomkraftwerke	🔥								💡
Solarzellen (Photovoltaik)	🔥								💡
Windkraftwerke	🔥								💡
Tiefengeothermieanlagen	🔥								💡
Grosse Erdgaskraftwerke	🔥								💡
Biomassekraftwerke (Holz)	🔥								💡
Biogasanlagen	🔥								💡
Kohleverbrennungsanlagen	🔥								💡
Stromerzeugung aus dem Ausland	🔥								💡
Strombedarf senken	🔥								💡

One for each technology, 30 pages in total
 (Download at: riskmeter.ch in French, German or English)

Methodology: an informed citizen panel



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

Interactive online-tool Riskmeter

Select your electricity supply for 2035

- LARGE HYDROPOWER DAMS
- LARGE RUN-OF-RIVER HYDROPOWER
- SMALL HYDROPOWER
- NUCLEAR
- SOLAR CELLS (PHOTOVOLTAIC)
- WIND
- DEEP GEOTHERMAL
- LARGE GAS POWER PLANTS
- WOODY BIOMASS
- BIOGAS
- WASTE INCINERATION
- NET IMPORT FROM ABROAD
- ELECTRICITY SAVING AND EFFICIENCY

Reset

show max potential OFF



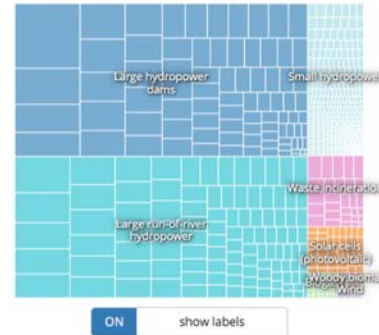
2035

Demand is not yet covered

Target demand: 70.0 TWh/year
Electricity saving and efficiency: 0.0 TWh/year
Total supply: 43.9 TWh/year
Net import: 0.0 TWh/year
Net export: 0.0 TWh/year

SUBMIT

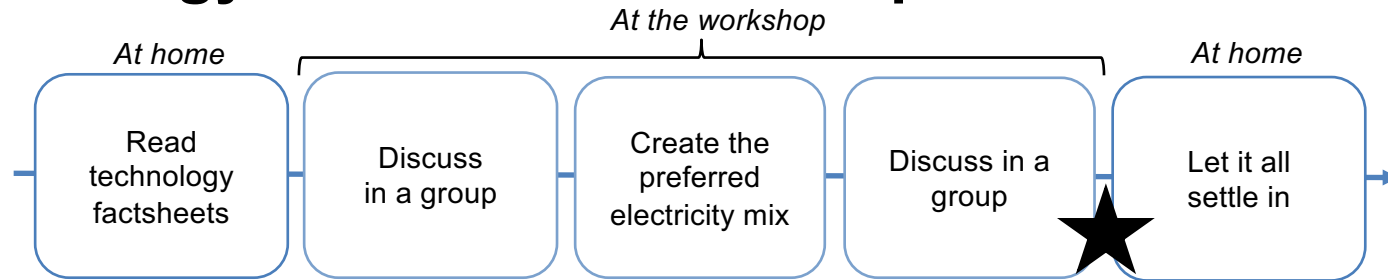
Your chosen electricity portfolio



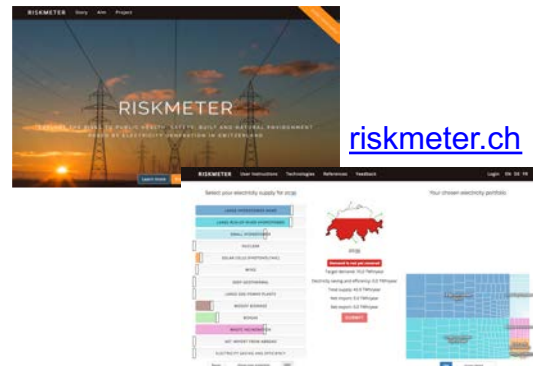
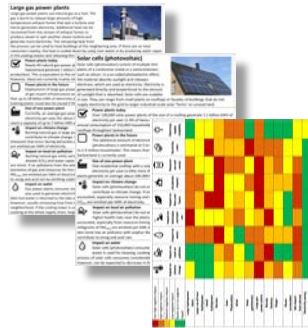
riskmeter.ch

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

Methodology: an informed citizen panel



Informed citizen panel



Documenting the evolution of public preferences

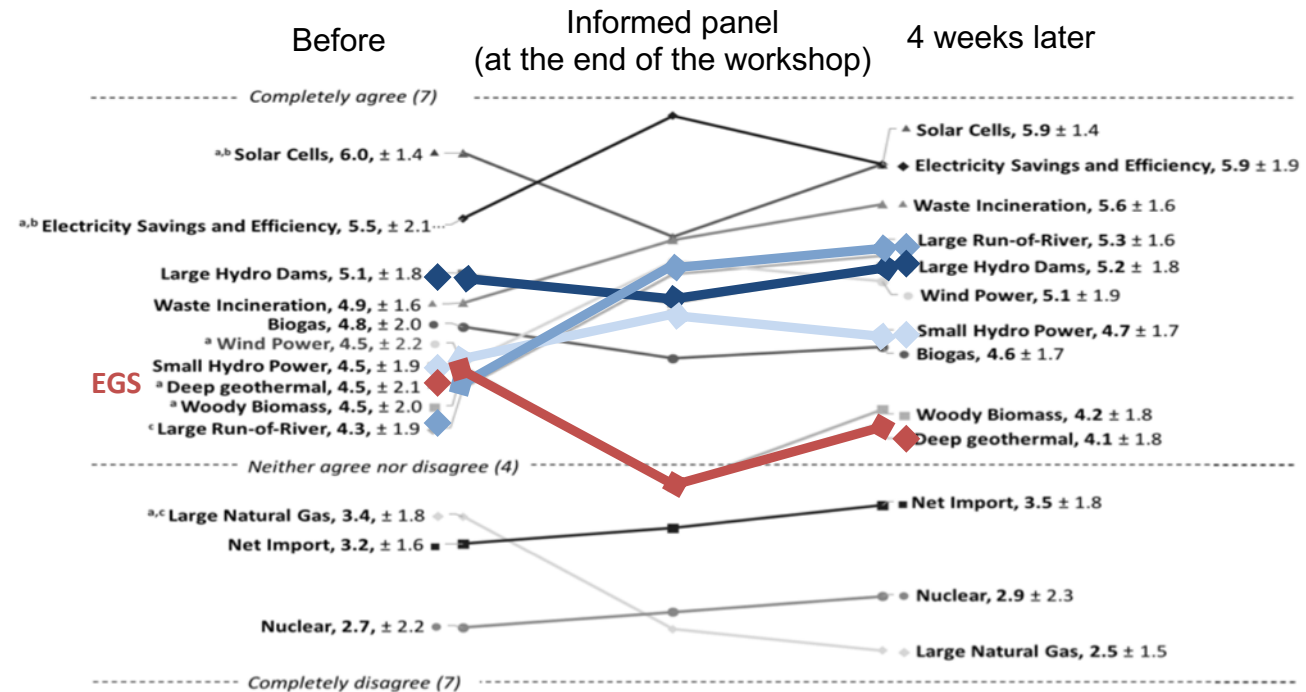
Our informed citizen panel

- **N=46** from the German part of Switzerland (mostly Zurich)
- **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%)



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

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



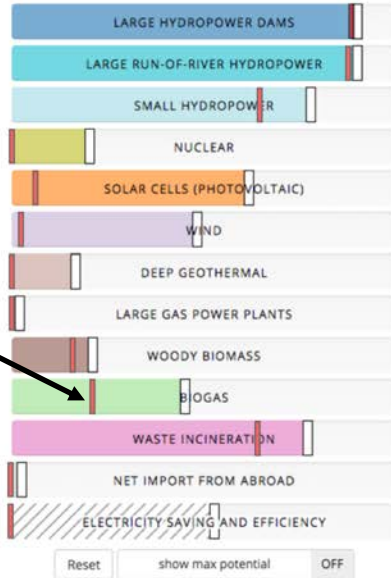
EGS

p<0.05:
^a before vs. informed
^b informed vs. after 4 weeks
^c before vs. 4 weeks

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

Average preferred electricity mix of the panel

Select your electricity supply for 2035



Minimum possible value



2035

Demand is covered

Target demand: 70.0 TWh/year

Electricity saving and efficiency: -3.7 TWh/year

Total supply: 66.9 TWh/year

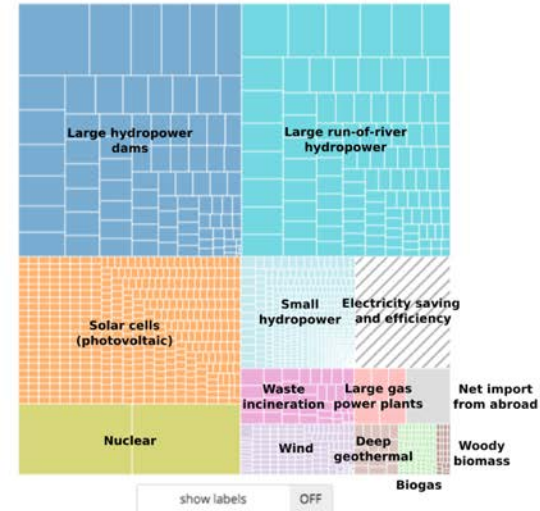
Net import: 0.9 TWh/year

Net export: 0.5 TWh/year

SUBMIT

Maximum potential

Your chosen electricity portfolio



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

Summary

- Informed panel's **preferences differed from those in a conventional survey**, especially for run-of-river hydropower, deep geothermal, natural gas, and woody biomass
- In all cases, we found **high and stable support** for solar PV, electricity demand reduction, large dams, and waste incineration
- The next step would be to **model such a scenario** that reflects the public preferences

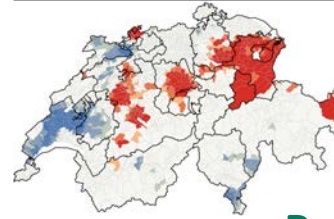


Related research



Public preferences for spatially siting the whole electricity mix

Steinberger et al. (2018) *under preparation*



Spatial analysis of the locations of existing renewable projects

Poster of Christoph Thormeyer



Energy, economic and equity implications of siting the whole mix

Poster of Jan-Philipp Sasse



Usability test of Riskmeter vs. a conventional website

Poster of George Xexakis

Thank you! Please get in touch
with questions and comments:



Prof. Evelina Trutnevyte
Renewable Energy Systems, University of Geneva

Email: evelina.trutnevyte@unige.ch

Website: www.unige.ch/res

Twitter: [@etrutnevyte](https://twitter.com/etrutnevyte)



SWISS NATIONAL SCIENCE FOUNDATION

This work was supported by SNSF Ambizione
Energy grant No. 160563