

# Missing Perspectives in Swiss Electricity Supply Models and Scenarios

**Prof. Evelina Trutnevyte**

G. Xexakis, A. Dubois, S. Holzer, J. Cousse, R. Hansmann, S. Volken

3 September 2019, SCCER-SoE conference



RENEWABLE ENERGY SYSTEMS



# Shortcomings of conventional opinion surveys



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"/>

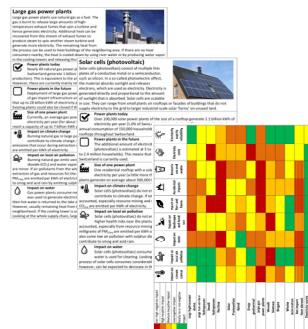


# Methodology: informed citizen panels



At home

Read  
technology  
factsheets



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

# Technology factsheets



**Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke**

**Heutige Situation**  
Mehr als 80 grosse Staudämme erzeugen Schweizer Stromerzeugung. Dies sind 2.6 Millionen Haushalte. Diese Staudämme

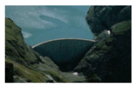
**Zukünftige Situation**  
Die zusätzliche Menge Strom, welche bestehende Kraftwerke erzeugen wird Milliarden kWh jährlich geschätzt (z.B. für 2007 heute 87 bis 96% ihres gesamten Potenzials für

**Grosse eines einzelnen Kraftwerks**  
In der Schweiz erzeugt ein durchschnittliches Millionen-kWh Strom (für ca. 30'000 H-Biodiesel Staudamm im Wallis 1.8 Milliarden kWh nur 2 Millionen kWh).

**Einfluss auf den Klimawandel**  
Grosse Staudämme stossen während Klimawandel beeinflussen. Über den g-einschliesslich des Baus der Staumauern, entwe-Strom.

**Einfluss auf die lokale Umgebungsluft**  
Grosse Staudämme stossen während erhöhten Gesundheitsrisiken nahe der Herstellungsweg eingerechnet, besonders der 7-Staumauern, dann entweichendes 50 Milligramm F-Verunreinigung durch Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Regen beträgt, ist über den gesamten Herstell-

**Einfluss auf Gewässer**  
Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke Stromerzeugung. Jedoch verbrauchen kleine Mengen Wasser durch Verdunstung bis beeinflussen vor allem den natürlichen Abfluss.



**Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke**

**Einfluss auf die Landschaft und die Bodennutzung**  
Über den gesamten Herstellungsweg gerechnet, braucht ein grosses Speicherwerk bis zu 4'100 m<sup>2</sup> 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.

**Einfluss auf Tiere und Pflanzen**  
Beim Bau von Staudämmen werden grosse Landflächen überflutet, was einen negativen Einfluss auf Tiere und Pflanzen hat. Dieser Einfluss kann besonders hoch sein, wenn die Dämme an unbesiedelten Orten mit hoher Tier- und Pflanzenvielfalt gebaut 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 typischer Unfall kann zu vielen Todesopfern und grossen wirtschaftlichen Schäden führen. Beispielsweise führte der Vajont Unfall in Italien 1963 zu 2'600 Todesopfern und etwa 140 Millionen CHF wirtschaftlichen Schäden.

**Rohstoffe 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**  
Die Kosten für die Stromerzeugung mit grossen Speicherkraftwerken 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 Staudämme sind eine zuverlässige, flexible und lokal verfügbare Art der Stromerzeugung. Insbesondere können Staudämme saisonale Unterschiede ausgleichen, 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) 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 werden. So sieht man wenige Platten auf Hausdächern oder an Fassaden für den Eigengehalt „Solarfarmen“ im Industriemassstab, auf ungenutzten Flächen



**Heutige Situation**  
Über 100'000 Anlagen in der Grösse eines Hausdach-Strom pro Jahr (1.6 % der Schweizer Stromerzeugung) jährlichen Stromverbrauch von 250'000 Haushalten. Die Sol-Schweiz verteilt, hauptsächlich auf Dächern von Wohnhäusern

**Zukünftige Situation**  
Die zusätzliche Menge Strom, welche durch neue werden kann, wird auf 5 bis 17 Milliarden kWh jährlich bis 2.4 Millionen Haushalte. Die Schweiz nutzt heute 6 bis 1 für Solarzellen.

**Grosse eines einzelnen Kraftwerks**  
Ein Dach eines Wohnhauses mit Solarzellen erzeugt Strom (etwas mehr als ein einzelner Haushalt jährlich „Solarfarmen“ erzeugen durchschnittlich 300'000 kWh (für

**Einfluss auf den Klimawandel**  
Solarzellen (Photovoltaik) stossen während dem B-die den Klimawandel beeinflussen. Wird der gesam eingerechnet, besonders der Abbau von Rohstoffen und die-entwischen 81 Gramm CO<sub>2</sub> pro kWh erzeugtem Strom.

**Einfluss auf die lokale Umgebungsluft**  
Solarzellen (Photovoltaik) stossen während dem B-die zu erhöhten Gesundheitsrisiken in der Nähe der gesamten Herstellungsweg eingerechnet, besonders der Abb-herstellung der Solarzellen, dann entweichenden 210 Milligramm Strom. Über den gesamten Herstellungsweg hinweg tritt bis Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) auf, die zu Smog

**Einfluss auf Gewässer**  
Solarzellen (Photovoltaik) verbrauchen während d-Wasser. Nur für die Reinigung werden kleine Mengen gesamten Herstellungsweg hinweggesehen, benötigt die H-erhebliche Mengen Wasser. Es wird jedoch erwartet, dass die Zukunft abnimmt.

**Unfälle und Risiken**  
Das Risiko schwerer Unfälle ist für Solarzellen in entwickelten Ländern, wie der Schweiz, extrem niedrig. Im Durchschnitt kommt auf 36'000 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 Feststoffabfall ist teilweise giftig, was problematisch sein kann, besonders durch unsachgemässe Entsorgung der Solarzellen.

**Stromkosten**  
Die Kosten für die Stromerzeugung mit Solarzellen 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 7 bis 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 Sonnenstrahlung abhängt, gibt es Tag-Nacht sowie saisonale Schwankungen. Diese Tag-Nacht Schwankungen können durch angeschlossene Batterien teilweise ausgeglichen werden. Ansonsten muss der Betrieb der übrigen Kraftwerke im Stromnetz angepasst werden, um die Schwankungen auszugleichen zu können.

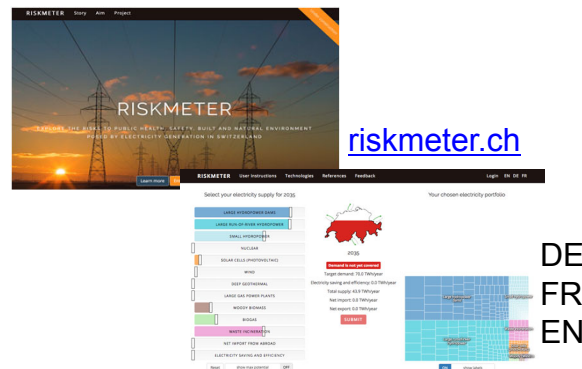
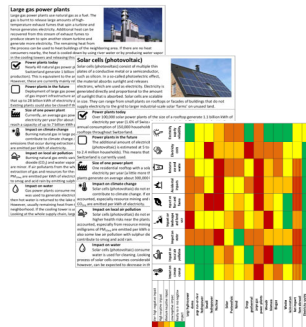
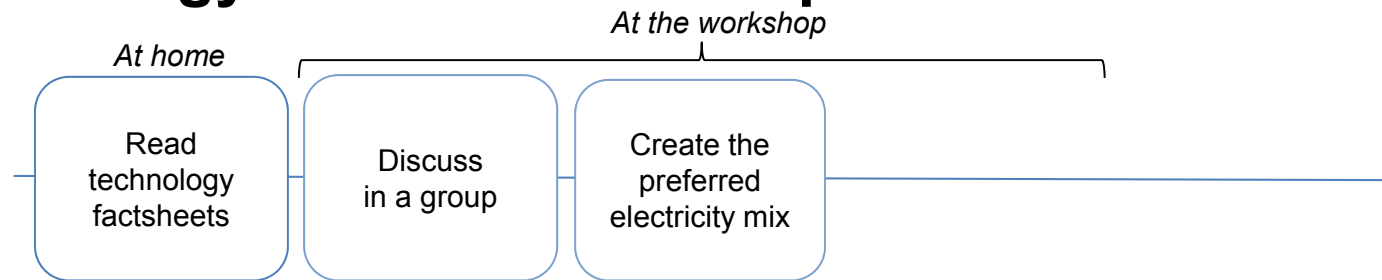
	Klima-wandel	lokale Umge-bungsluft	Gewässer	Landschaft und Boden-nutzung	Tiere und Pflanzen	Unfälle und Risiken	Rohstoffe und Abfälle	Strom-kosten	Versor-gungs-sicherheit
Sehr hoher negativer Einfluss									
Hoher negativer Einfluss									
Mittlerer negativer Einfluss									
Geringer negativer Einfluss									
Kein oder sehr geringer negativer Einfluss									
<b>Grosse (Pump-) Speicherwasserkraftwerke</b>									
<b>Grosse Laufwasserkraftwerke</b>									
<b>Kleinwasserkraftwerke</b>									
<b>Atomkraftwerke</b>									
<b>Solarzellen (Photovoltaik)</b>									
<b>Windkraftwerke</b>									
<b>Tiefengeothermie-anlagen</b>									
<b>Grosse Erdgaskraftwerke</b>									
<b>Biomasskraftwerke (Holz)</b>									
<b>Biogasanlagen</b>									
<b>Kehrichtverbrennungs-anlagen</b>									
<b>Stromimporte aus dem Ausland</b>									
<b>Strombedarf senken</b>									

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

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

## RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

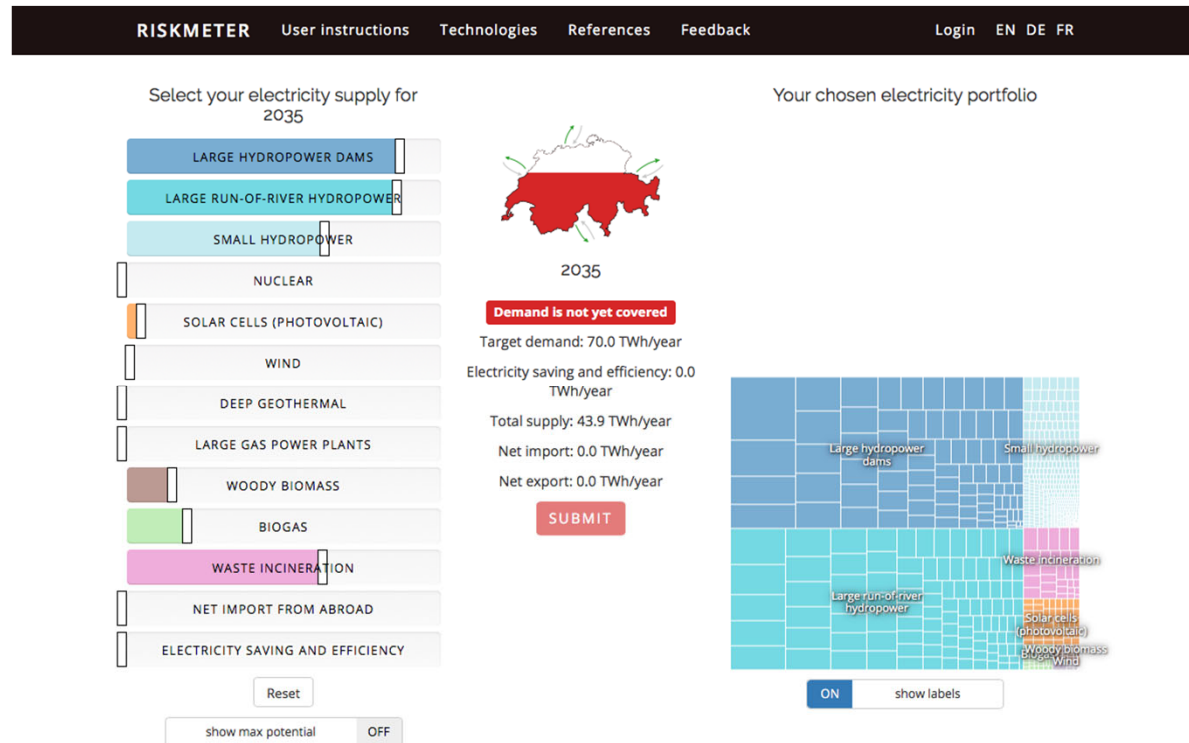
# Methodology: informed citizen panels



DE  
FR  
EN

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

# Interactive online-tool Riskmeter

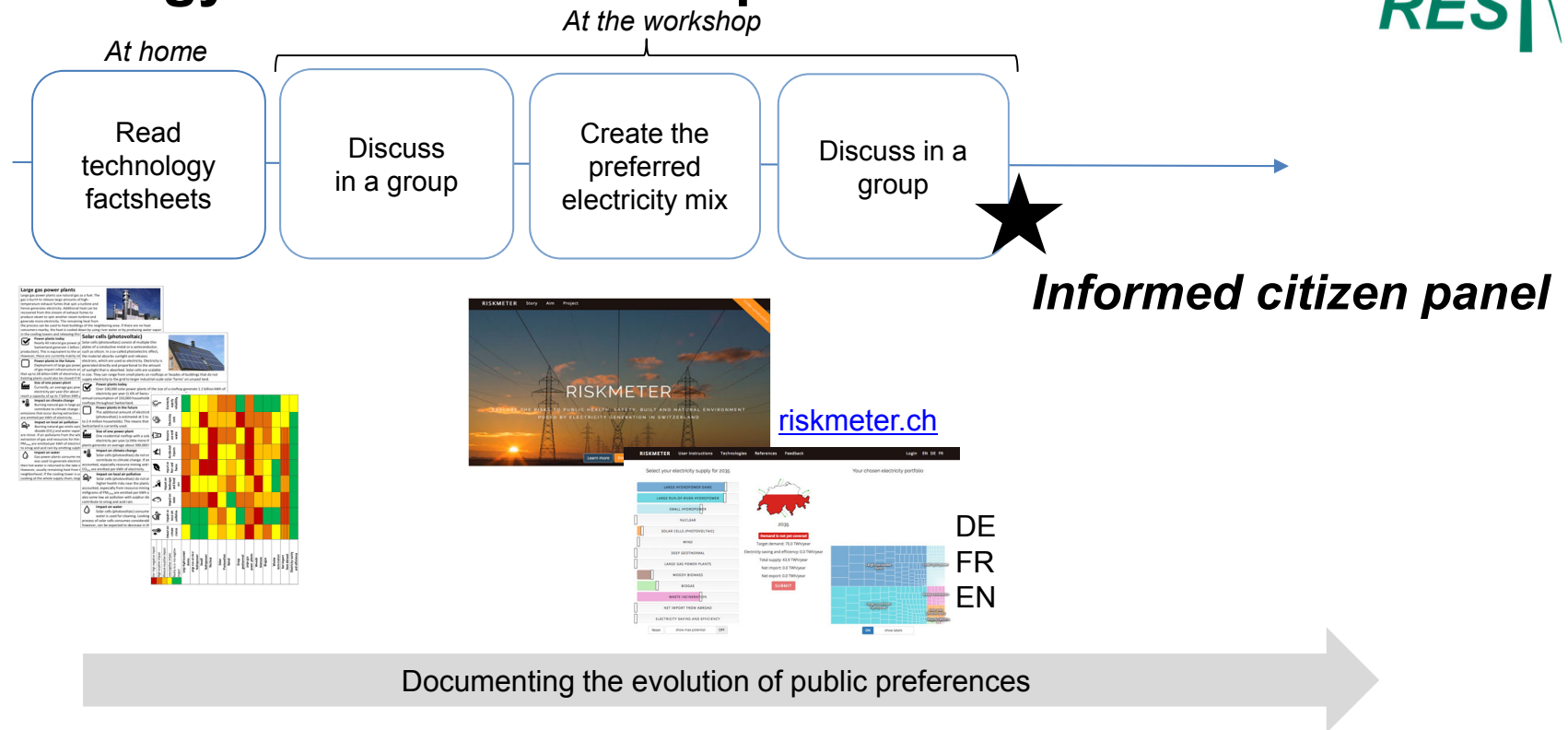


[riskmeter.ch](http://riskmeter.ch)

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

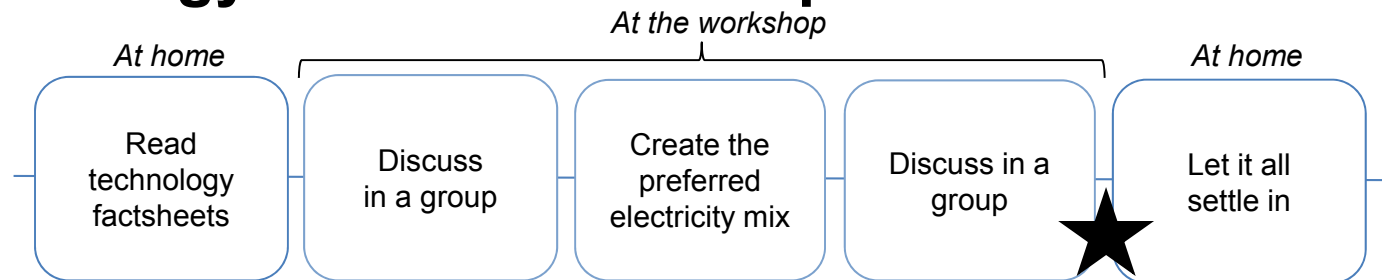


# Methodology: informed citizen panels

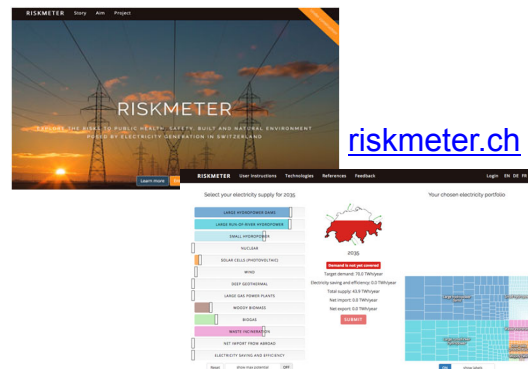
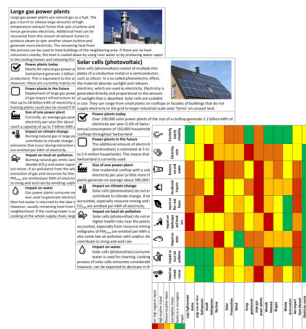


Source: Volken et al. (2018) *Environmental Science & Technology*

# Methodology: informed citizen panels



***Informed citizen panel***



DE  
FR  
EN

Documenting the evolution of public preferences

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



# Informed citizen panel in Geneva

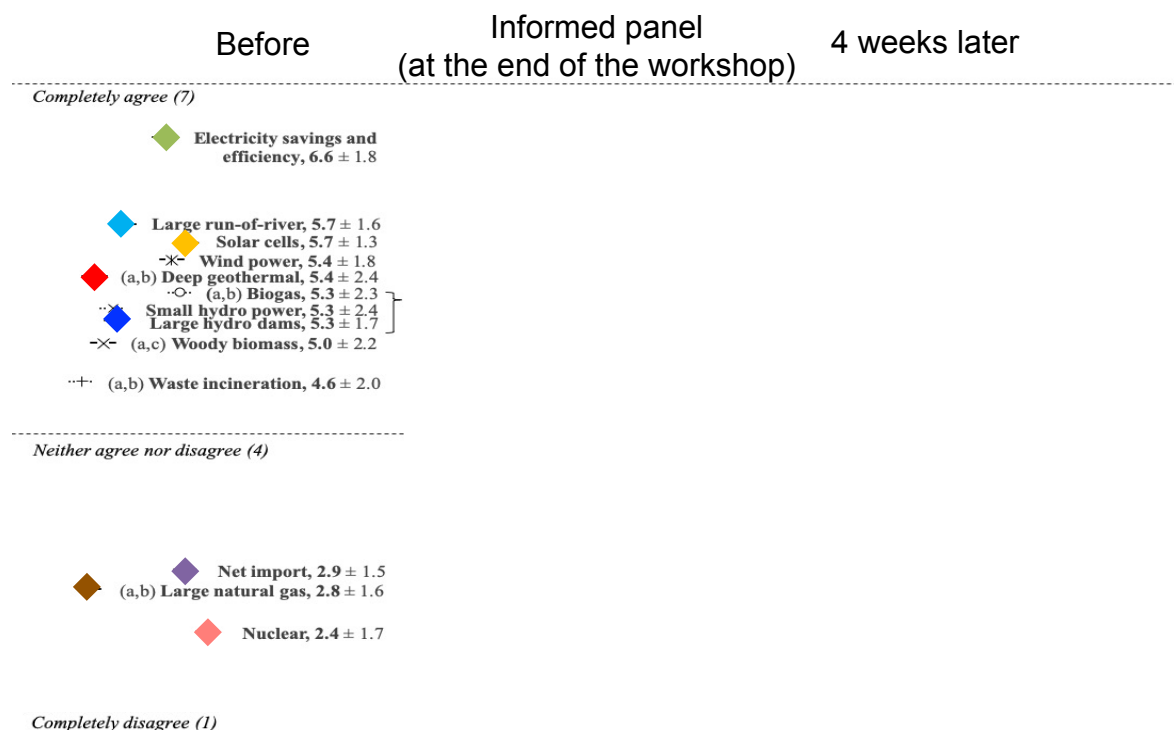


- N=33
- Recruited to represent diversity in initial technology preferences
- Socio-demographic characteristics:
  - A little younger than the Swiss average: 32.0 years old on average (CH: 42.2 years)
  - Representative in terms of gender: 50% female (CH: 51%)
  - More educated: 72% finished a high school (CH: 41%), 44% had a Bachelor degree (CH: 17%)



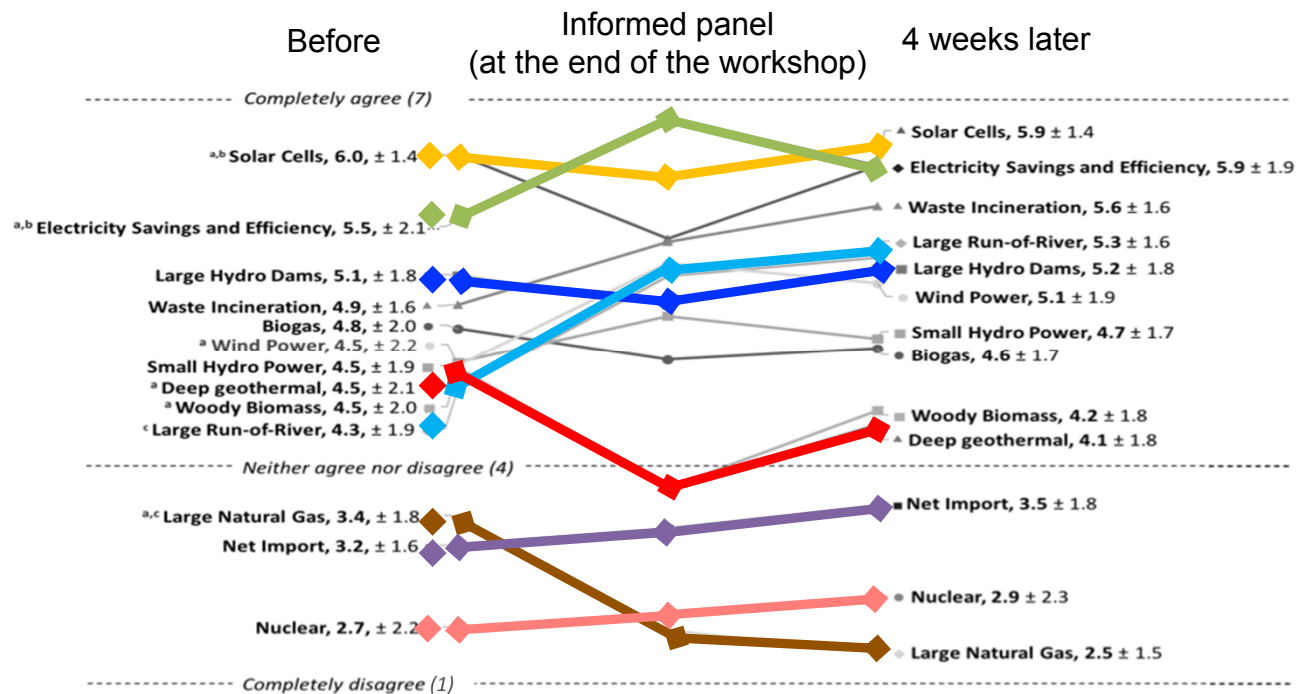
Source: Dubois et al. (in preparation)

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



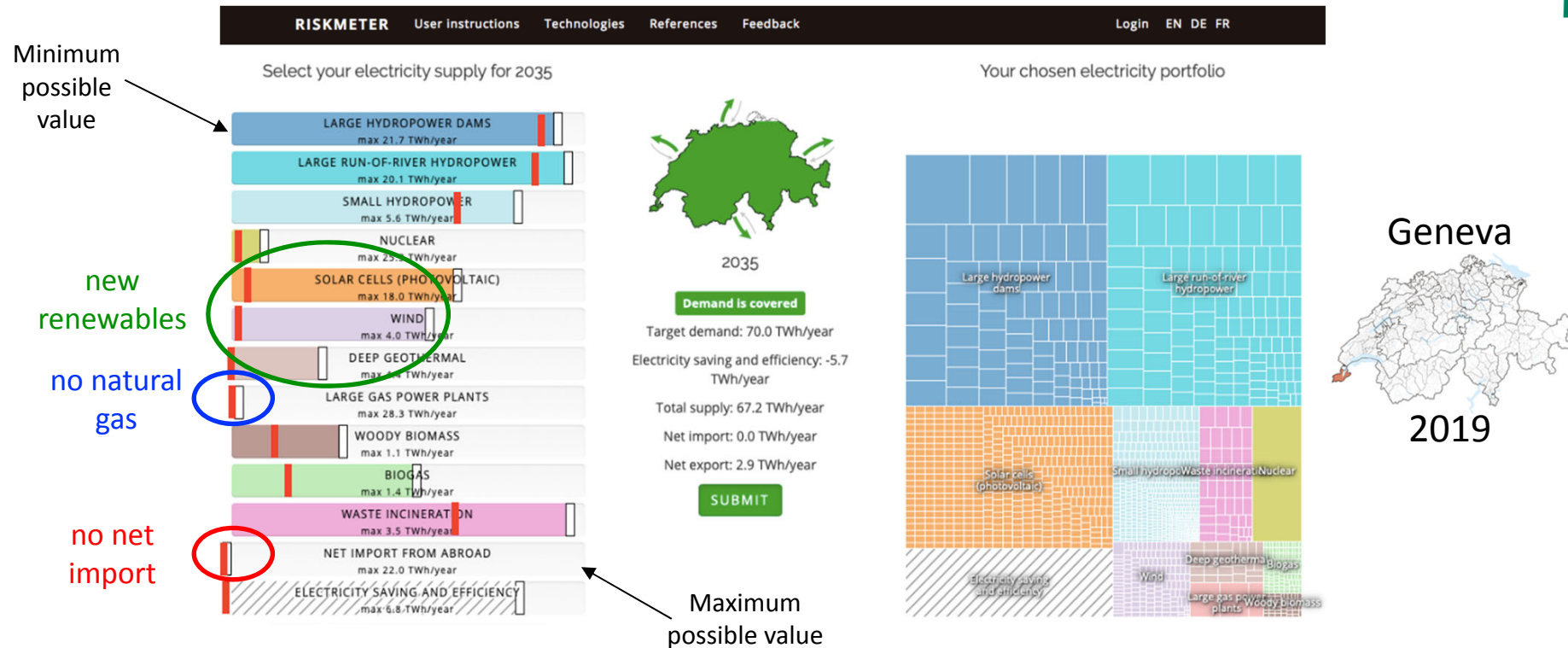
Source: Dubois et al. (in preparation)

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

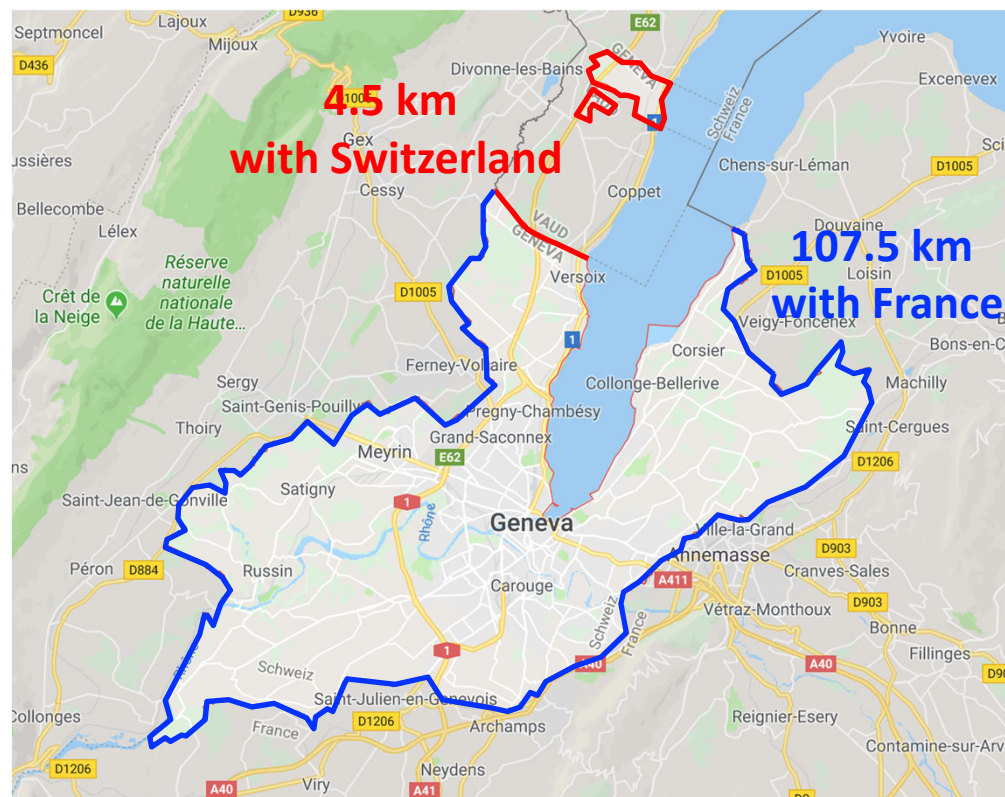


Source: Volken et al. (2018) *Environmental Science & Technology*

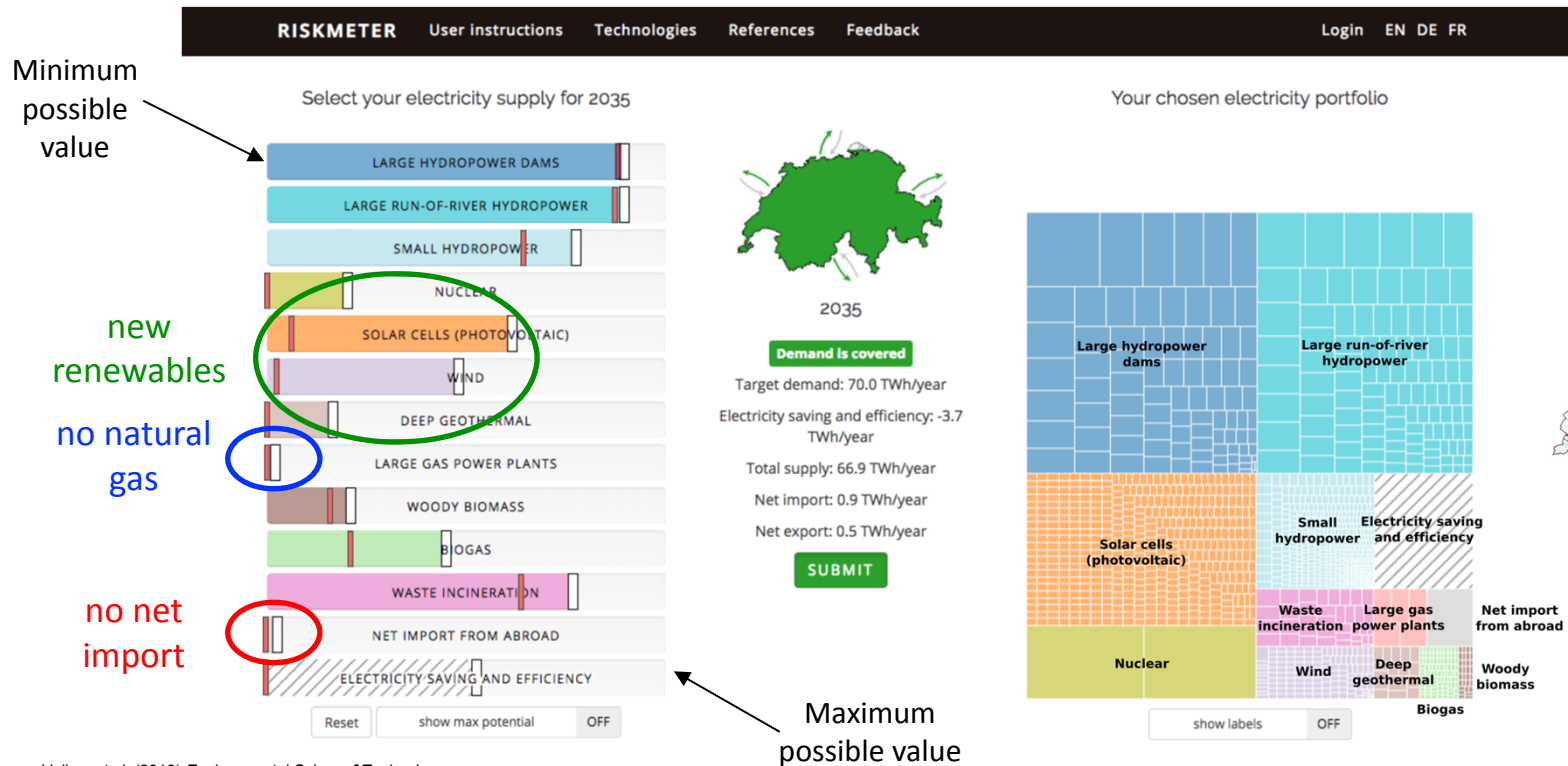
# Average preferred electricity mix 2035



Source: Dubois et al. (in preparation)



# Average preferred electricity mix of the panel



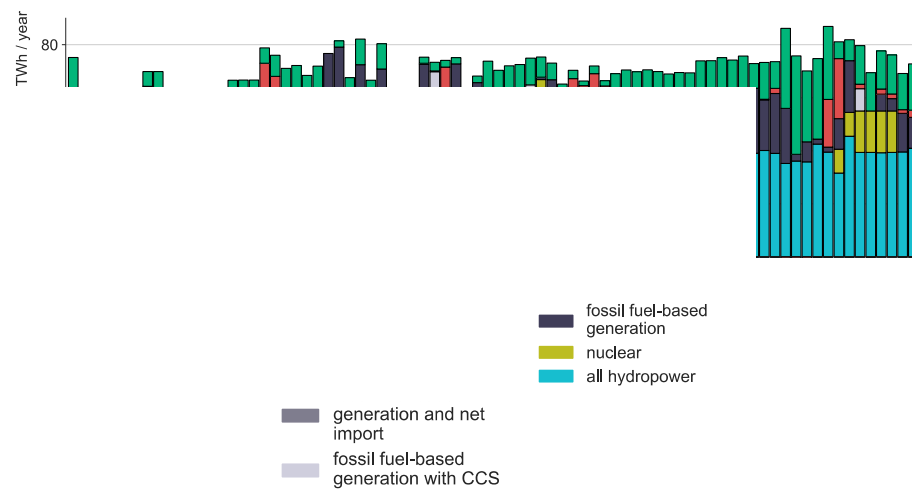
Source: Volken et al. (2018) *Environmental Science & Technology*



# Assessment of existing electricity scenarios



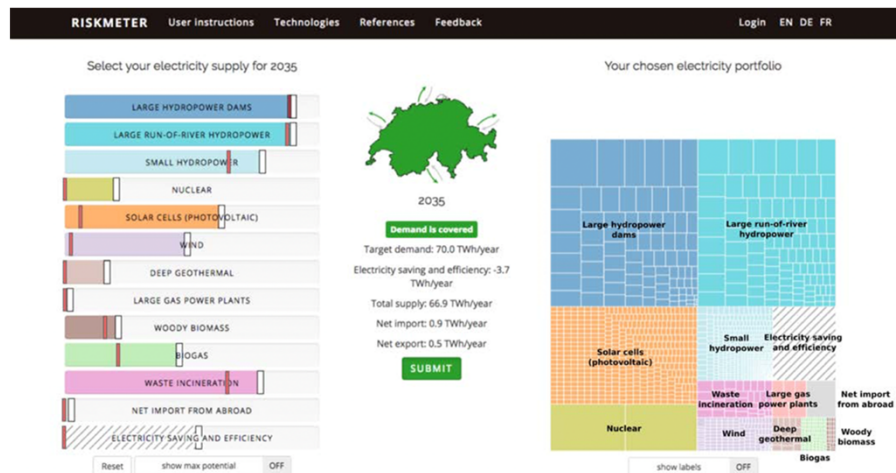
Currently existing model-based  
electricity scenarios for 2035  
(18 studies, 80 scenarios)



➤ see the poster of George Xexakis for details

Source: Xexakis et al. (2019)

# Elicitation of the preferred mix 2035

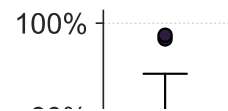


[riskmeter.ch](http://riskmeter.ch)

Samples	N	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. (2019)

# Modeled scenarios vs. preferred scenarios (I)



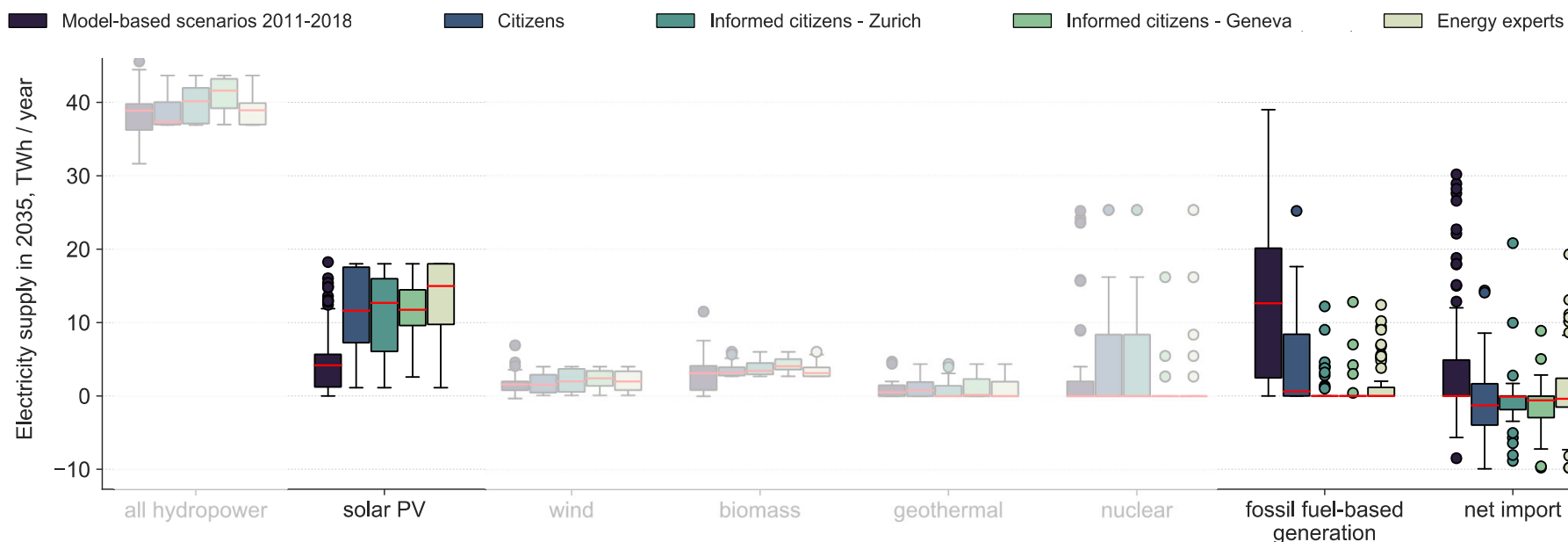
- Model-based scenarios 2011-2018
- Citizens
- Informed citizens - Geneva
- Informed citizens - Zurich
- Energy experts

0% ————— share of all domestic renewable technologies

H-statistic	106.31 ( $p < 0.001$ )
Significant differences between samples	Modeled < the rest Citizens < Inf. citizens & Experts

Source: Xexakis et al. (2019)

# Modeled scenarios vs. preferred scenarios (II)



H-statistic	20.61 (p < 0.001)	72.40 (p < 0.001)	14.31 (p < 0.01)	26.57 (p < 0.01)	3.06	11.06 (p < 0.05)	105.76 (p < 0.001)	57.59 (p < 0.001)
Sig. differences	Inf. Gen. > rest	Modeled < rest	Exp. & Inf. Gen. > rest	Inf. Gen. & Inf. Zur. > rest	-	Cit. > rest	Modeled > rest Cit. > Inf. & Exp.	Modeled > rest

Source: Xexakis et al. (2019)

# Summary

- Preferences of informed citizen panels differ from those in conventional surveys, especially for technologies like deep geothermal, where stable opinion does not exist yet



Please get in touch with  
questions and comments!



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

Email: [evelina.trutnevyte@unige.ch](mailto:evelina.trutnevyte@unige.ch)

Website: [www.unige.ch/res](http://www.unige.ch/res)

Twitter: @etrutnevyte

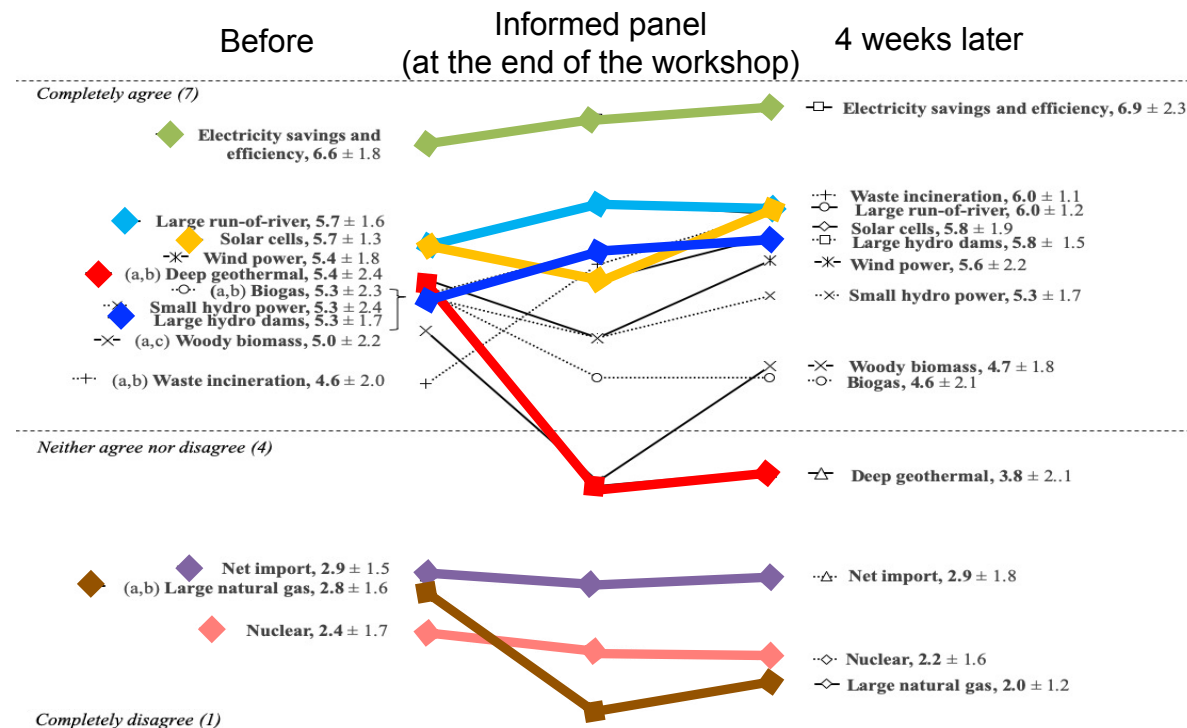


RENEWABLE ENERGY SYSTEMS





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



Source: Dubois et al. (in preparation)

# First thoughts on deep geothermal



Before



Informed panel  
(at the end of the workshop)



4 weeks later



Geneva  
2019

Source: Dubois et al. (in preparation)