

Alpine Solaranlagen – macht dies Sinn?

*Jürg Rohrer Prof. for Ecological Engineering
Leiter Forschungsgruppe Erneuerbare Energien*

IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Die Klimaerhitzung erfordert eine Energiewende

- *Dreiviertel der Schweizer Treibhausgasemissionen sind energiebedingt.*
- *Die Dekarbonisierung des Energiesystems wird den Strombedarf erhöhen.*
- *Schweizer Ziele sind zu wenig ambitioniert: Netto Null THG-Emissionen müsste bis 2035 angestrebt werden um den Vertrag von Paris zu erfüllen.*

Photovoltaik auf Dachflächen

- *Grosse Potenziale*
- *Geringer Ausschöpfungsgrad der Potenziale*
- *Zu langsamer Ausbau der PV-Produktion*

Potenzial auf CH Dachflächen für PV-Strom: 53.6 TWh/a (± 2 TWh/a)



nach Abzug

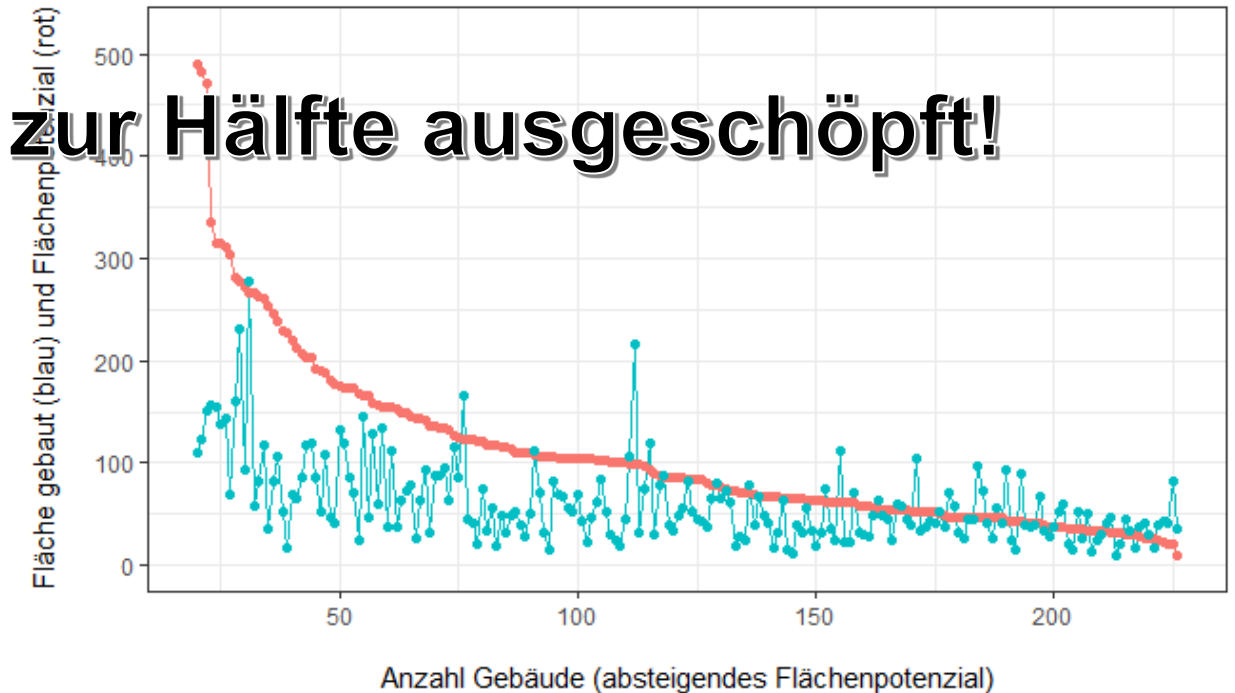
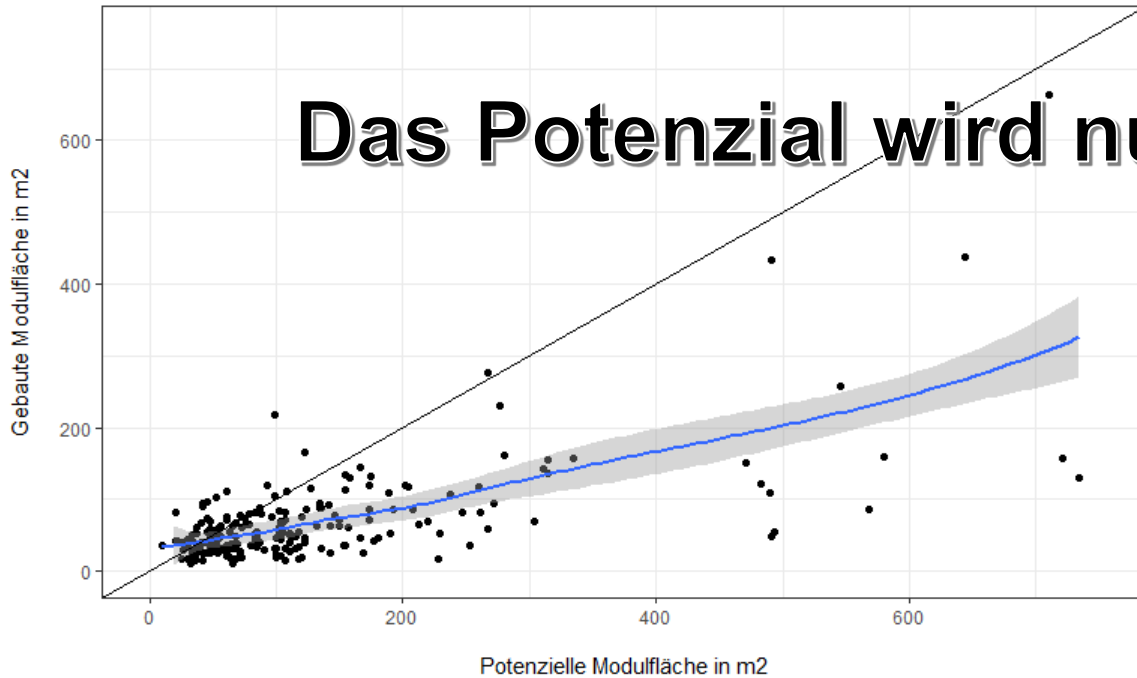
- kleiner Flächen,
- Flächen mit $< 1000 \text{ kWh/m}^2/\text{a}$ Einstrahlung (Eignung)
- und dem nicht nutzbaren Dachflächenanteil

Modulwirkungsgrad 20%, PR 80 %.

644 km² Dachflächen
 440 km² grundsätzlich für PV geeignet
 davon 60 % (± 2 %) für PV nutzbar
 -> max. **Modulfläche 264 km²** ($\pm 9 \text{ km}^2$)

Anderegg, D & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf
 Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022
<https://doi.org/10.21256/zhaw-2425>

Wie gross werden PV-Anlagen auf CH Dächern gebaut? (Potenzialausschöpfung)

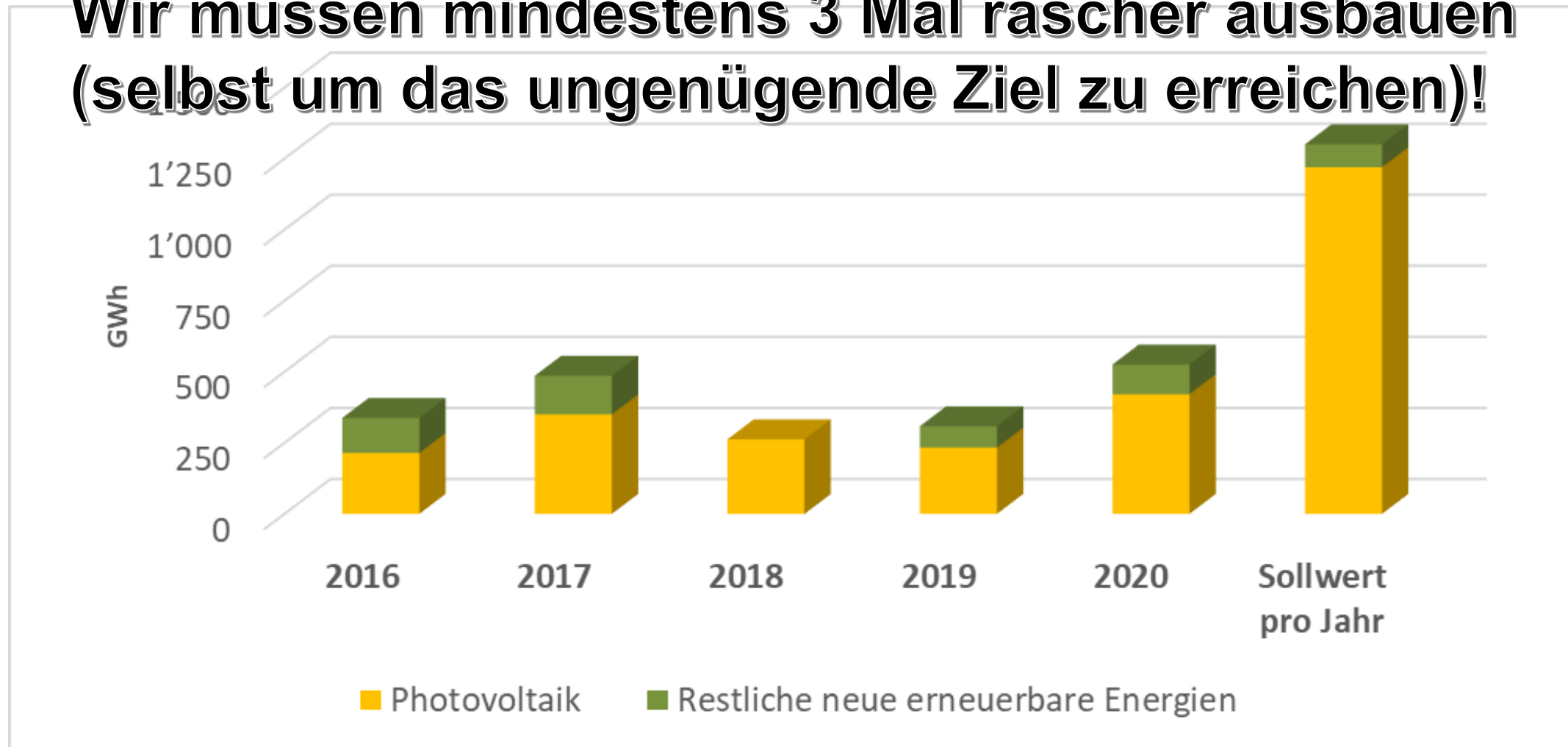


Vergleich der gebauten und potenziellen Modulfläche.
 Die Diagonale entspricht einer Ausschöpfung des
 identifizierten Potenzials zu 100 %.

Anderegg, D & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf
 Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022
<https://doi.org/10.21256/zhaw-2425>

Jährliche Zunahme der Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien

Wir müssen mindestens 3 Mal rascher ausbauen (selbst um das ungenügende Ziel zu erreichen)!



Datenquellen: Statistik erneuerbare Energien, Energieperspektiven 2050+ Szenario Zero A

Genügen die Dachflächen für die Energiewende?

- Bedarf an Stromproduktion aus PV gemäss Energieperspektiven 2050+
Szenario Zero A: 39 TWh/a
- Potenzial auf Gebäudedächern: 53.6 TWh/a

Die Ausschöpfung des Potenzial von 53.6 TWh/a bis 2050 auf Gebäudedächern bedeutet:

- Auf mehr als 95 % aller Gebäude gibt es eine PV-Anlage (realistisch?)
- Die Potenziale werden zu 100 % ausgenutzt (nicht zu 49 % wie heute)
- Zubau von PV-Anlagen müsste 3 Mal rascher erfolgen als heute um Netto-Null bis 2050 zu erreichen (aber Ziel 2050 ist ungenügend -> 2035 wäre notwendig)

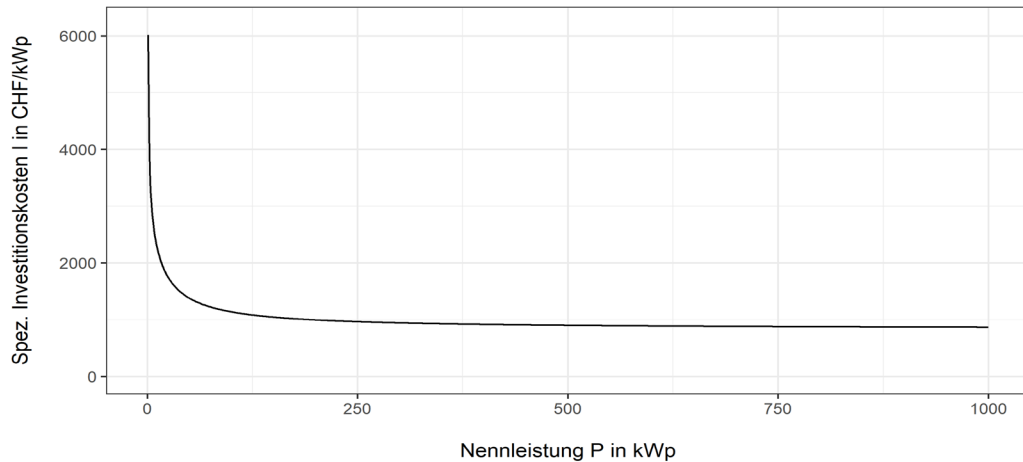
Wir müssen die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen massiv und viel rascher ausbauen.

-> Nationale Ziele auf kleinere Einheiten herunterbrechen (Kantone, Gemeinden, VNB) und diese in die Pflicht nehmen.

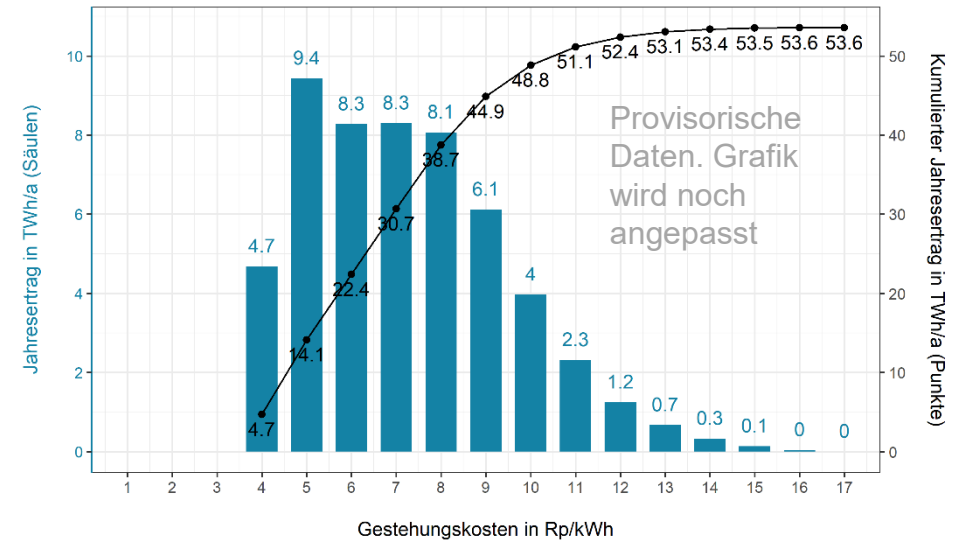
Wie wäre eine Beschleunigung des Zubaus möglich?

- PV-Obligatorium für neue *und* bestehende Bauten (analog Luftschutzkeller) oder Ausbau-Vorgaben für Kantone oder Verteilnetzbetreiber
-> Planungssicherheit für PV-Branche
 - Grossflächige PV-Anlagen zuerst ausbauen (grosse Dachflächen, Parkplätze, Freiflächen, usw.)
 - Agro-Photovoltaik (Synergieeffekte: Schutz vor Hitze, Schutz vor extremen Wetterereignissen, evtl. Bewässerung, evtl. Einsparung von Pestiziden)
 - Freiflächen in den Alpen (Potenzial auf bestehenden Infrastrukturen in den Alpen ist gering). 3 Mal mehr Winterstrom als im Mittelland pro Fläche
- Nebeneffekte von PV auf Freiflächen:
- Kosten pro kWh eher geringer als auf Gebäuden
 - Positiver Beitrag zur Biodiversität möglich

Kosten von PV-Anlagen Gebäude / alpine Grossanlagen



- Auf EFH ca. 2'000 bis 4'500 Fr./kWp
- In den Alpen ca. 2'000 bis 3'000 Fr./kWp inkl. Netzanschluss, aber wesentlich höherer Ertrag pro kWp als im Mittelland (Faktor 1.5 bis 1.7)
- Strom aus alpinen Anlagen kostet eher weniger als Strom aus Dachanlagen. Aber 45 bis 50% Winteranteil (anstatt 25%)



Potenzieller Jahresertrag auf Dachflächen in TWh/a pro Kategorie mit Gestehungskosten bei heutigem Preisniveau. Lesebeispiel: Zu 10 Rp./kWh können auf Dachflächen jährlich 4 TWh erzeugt werden (Balken). Zu maximal 10 Rp./kWh können insgesamt 48.8 TWh/a erzeugt werden (Kurve mit Punkten)

Quelle: Anderegg, A & Rohrer, J; Photovoltaik Potenzial auf Dachflächen in der Schweiz, ZHAW, 2022
<https://doi.org/10.21256/zhaw-2425>

Photovoltaik-Potenziale Schweiz

	Potenzial	bis 2050 realisierbar	bis 2050 realisierbar	Fläche	Flächenertrag
	TWh	TWh	%	km ²	GWh/km ²
Gebäudedächer	49.1	23.3	47%	153	152
Gebäudefassaden	17.2	8.2	48%	107.4	76
Strassen	24.7	2.5	10%	16.2	153
Parkplätze	4.9	3.9	80%	25.7	153
Autobahnböschungen	5.6	3.9	70%	25.7	152
Freiflächen (Alpen)	16.4	3.3	20%	31.3	105
Agro-Photovoltaik	??				
Seen	??				
Total	117.9	45.1	38%	251.9 *	

*) Gesamtfläche ohne Fassaden, entspricht 0.6% der Fläche der Schweiz

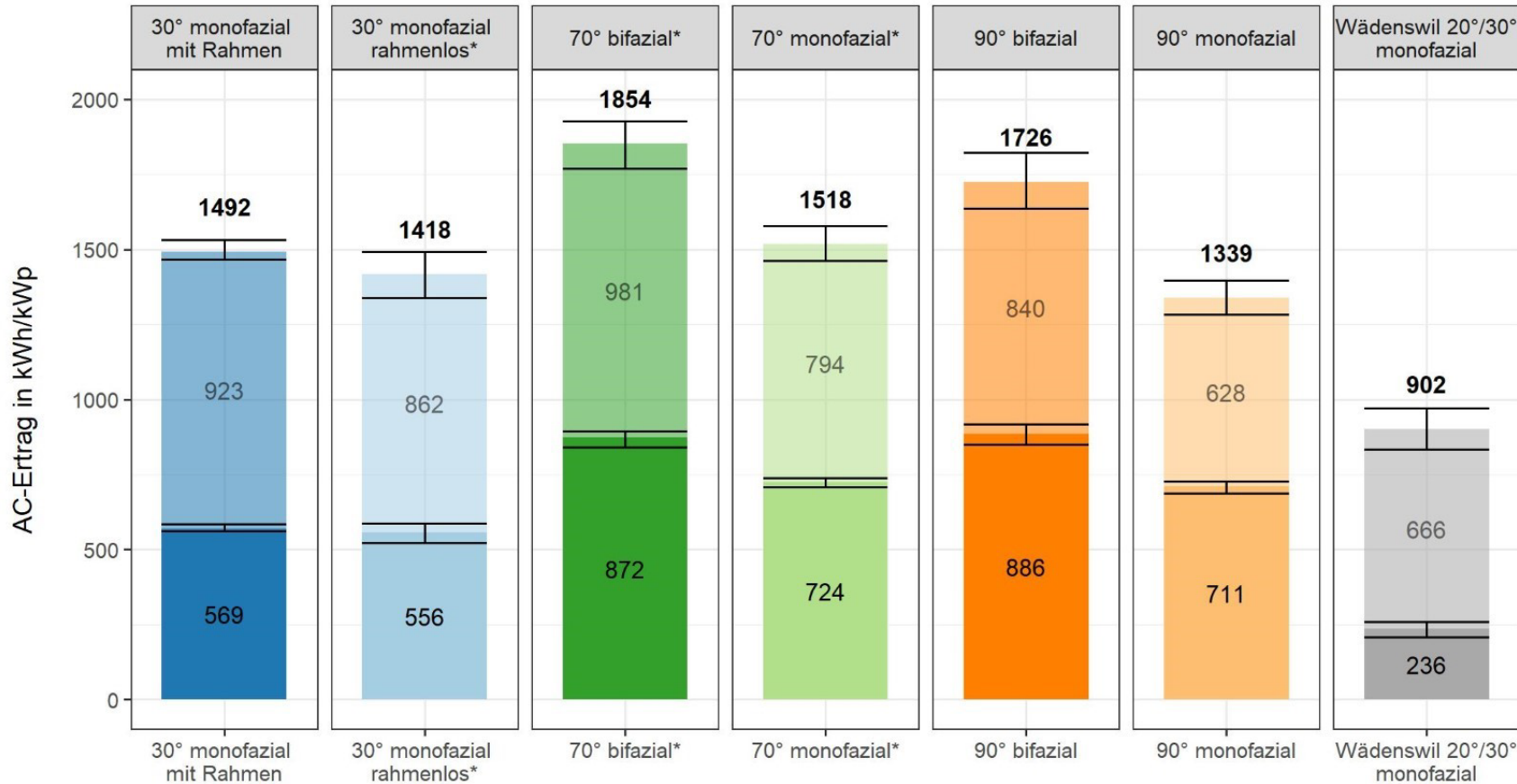
Datenquelle: Remund, J., Albrecht, S., & Stickelberger, D. (2019). *Das Schweizer PV-Potential basierend auf jedem Gebäude*. Meteotest & Swissolar.



Abb. 1: Ansicht der Versuchsanlage auf 2400 m.ü.M. in Davos von vorne. Alle Module sind gegen Süden ausgerichtet.

<https://doi.org/10.21256/zhaw-19860>

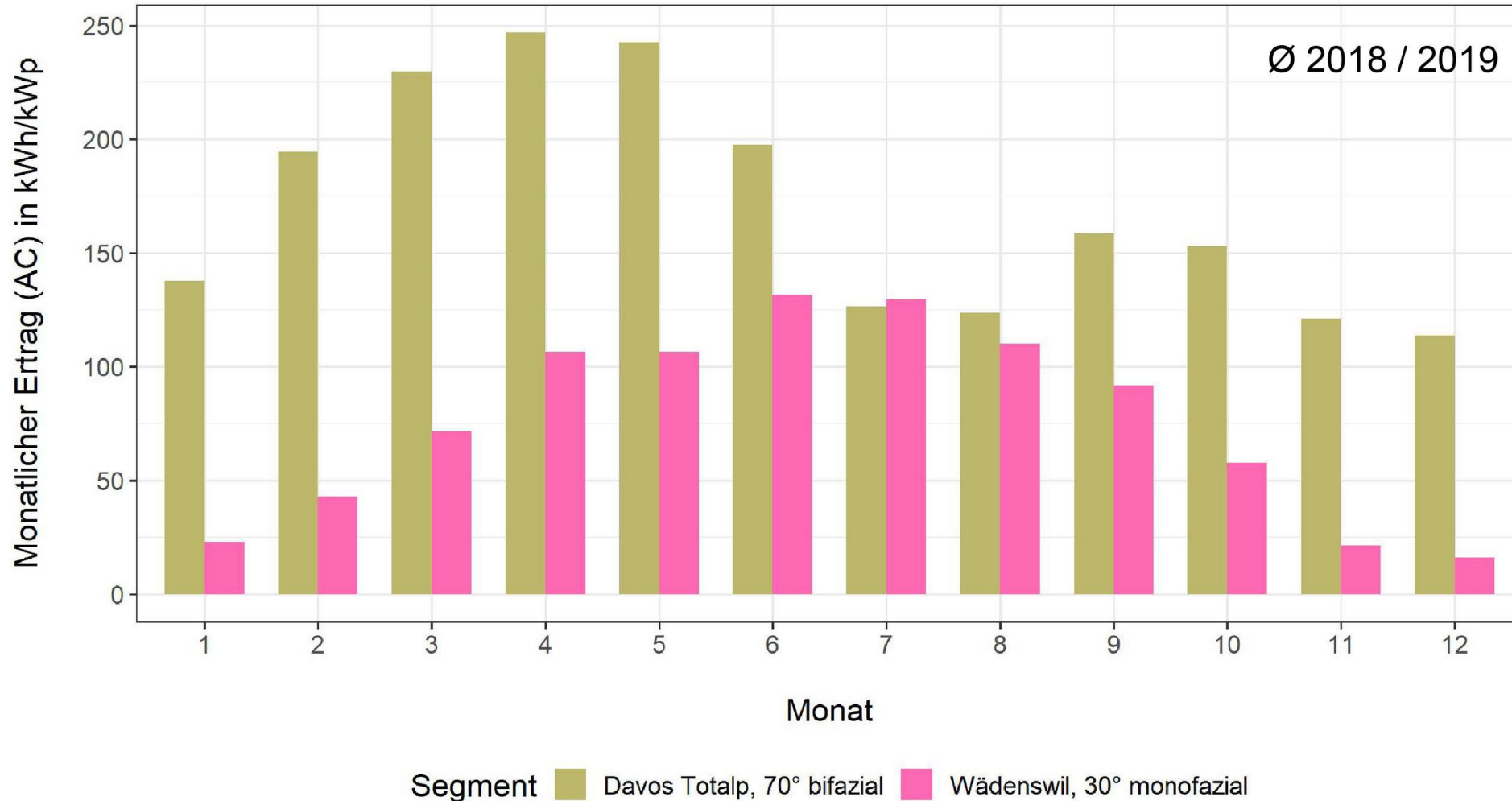
Erträge in den Alpen (Messungen ZHAW über 4 Jahre)



Mittlerer jährlicher AC-Energieertrag (2018 bis 2021) pro Anlagensegment in kWh/kWp. Module nach Süden ausgerichtet. Erträge des Winterhalbjahres (Januar-März / Oktober-Dezember) sind dunkel eingefärbt, Erträge des Sommerhalbjahres (April-Sept.) sind hell eingefärbt. Die doppel-T-Balken zeigen die jeweiligen Min- und Max-werte für das Winterhalbjahr und das gesamte Jahr.

Anderegg, D., Strebel, S., & Rohrer, J. (2022). Photovoltaik Versuchsanlage Davos Totalp, Messergebnisse Winter 2021 / 2022 [Messbericht]. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen.

Photovoltaik-Monaterträge Alpin bzw. Mittelland



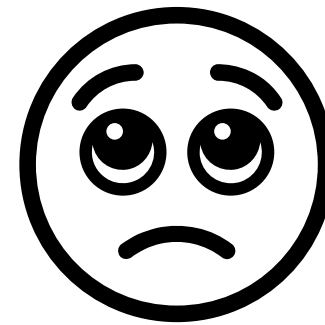
Anderegg, D., Strebel, S., & Rohrer, J. (2019).
 Messergebnisse Juni 2018 bis Mai 2019
 Versuchsanlage Totalp

Der Bedarf an Photovoltaik-Anlagen in den Alpen hängt ab von:

- 1) Ausschöpfung des PV-Potenzials auf Gebäuden und Infrastrukturen
- 2) Ausschöpfung des Windenergiepotenzials in der Schweiz
- 3) Sanierungsrate der Gebäude und Sanierungsgüte
(Wärmepumpe -> Strombedarf im Winter)
- 4) Importmöglichkeiten von Strom aus dem Ausland im Winter
- 5) Grösse und Art der saisonalen Energiespeicher
- 6) **Effizienz des zukünftigen Energiesystems in der Schweiz**

Was?

**Ihr wollt unsere schöne
Landschaft verbauen?**



Wir tragen Sorge zu unserer Landschaft!

Ist dies alles kein Problem? Wo bleiben die Landschaftsschützer?

In den letzten 30 Jahren:

- wurden die Strassenareale um 124 km² ausgedehnt (+ 19 %)
- oberirdische Parkplatzareale haben um 68 % zugenommen
- die versiegelte Fläche hat insgesamt um 594 km² zugenommen

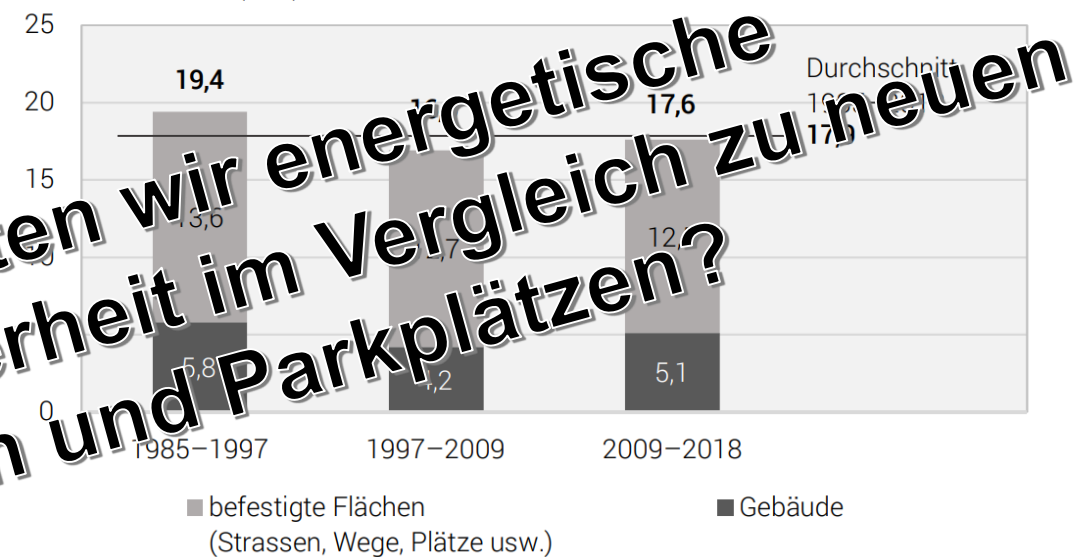
Alpine PV-Anlagen versiegeln den Boden praktisch nicht und werden ein Bruchteil der oben erwähnten Flächen überspannen.

Jährliche Zunahme der versiegelten Flächen

Mittlere jährliche Zunahme nach Beobachtungsperiode und Art der versiegelten Fläche

G 21

Quadratkilometer (km²)

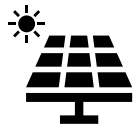


Quelle: BFS – Arealstatistik (AREA)

© BFS 2021

Die Bodennutzung in der Schweiz: Resultate der Arealstatistik 2018, BFS, 2021

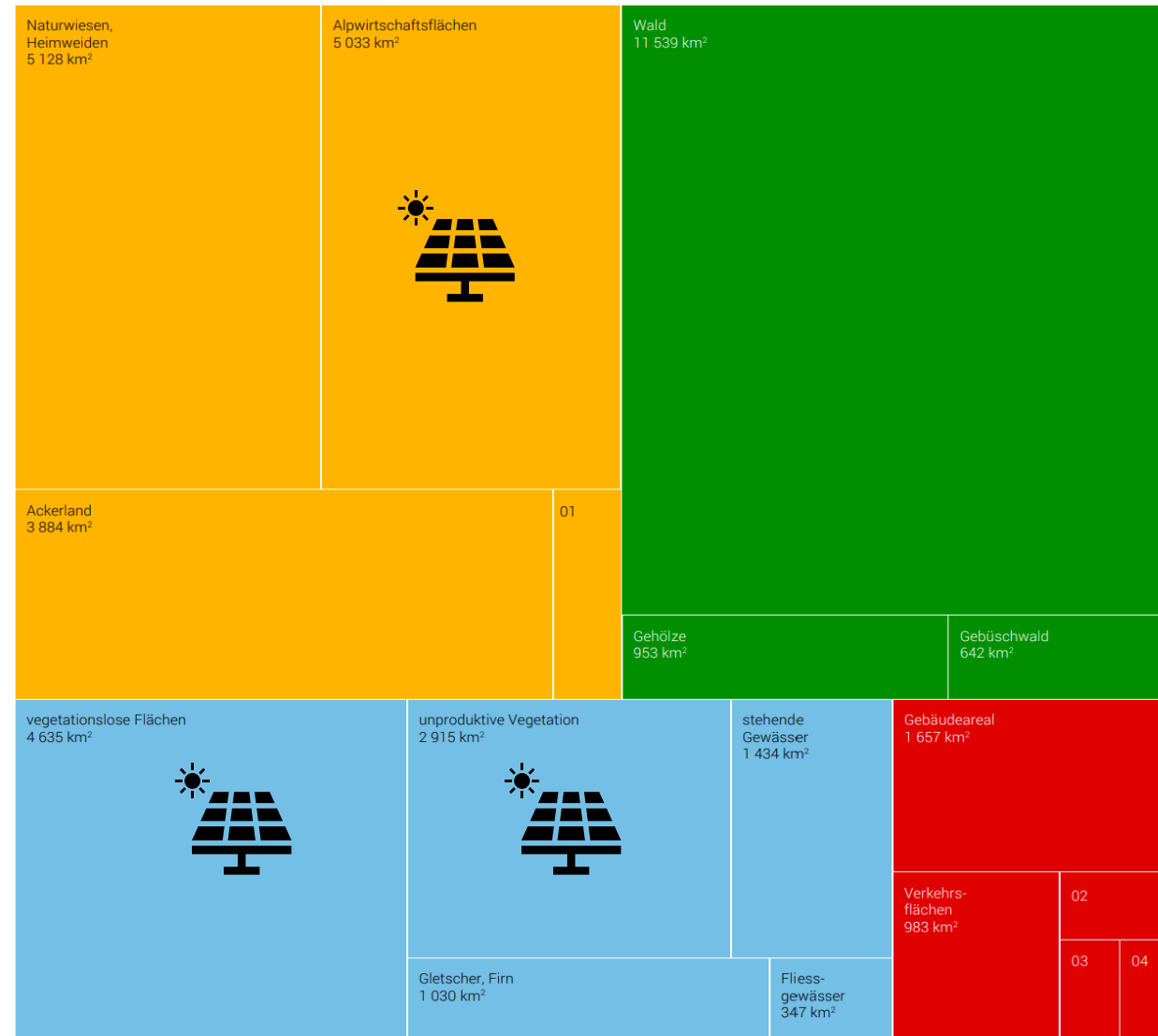
Orte für alpine PV-Anlagen



- Unproduktive oder vegetationslose Flächen
- Evtl. Alpwirtschaftsflächen

Total Landesfläche Schweiz: 41 291 km²

- Siedlungsflächen (8%, 3 271 km²)
- Landwirtschaftsflächen (35%, 14 525 km²)
- unproduktive Flächen (25%, 10 361 km²)
- bestockte Flächen (32%, 13 134 km²)



01: Obst-, Reb- und Gartenbauflächen (480 km²)
 02: Industrie- und Gewerbeareal (256 km²)

03: Erholungs- und Grünanlagen (209 km²)
 04: besondere Siedlungsflächen (168 km²)

Was geschieht auch ohne Photovoltaik in den Alpen?

Klimaerhitzung verändert bereits heute die Alpen:

- Zunehmende Begrünung in höheren Lagen
 - Albedo sinkt -> Verstärkung der Erwärmung
 - Biodiversität sinkt, da die Vegetation in den Bergen nicht gewohnt ist, ihren Lebensraum gegen andere Pflanzen zu verteidigen
- Auftauen des Permafrostes
- Mehr Murgänge, Felsabbrüche und Steinschlag (Extremniederschläge, auftauender Permafrost)
- Mehr Regen anstatt Schnee -> Geringere Speicherwirkung, extremere Abflüsse

Die Landschaft in den Alpen wird sich wegen der Klimaerhitzung auch verändern, wenn wir sie sich selbst überlassen. Ob wir es wahr haben wollen oder nicht.

Wir sollten uns von der Idee lösen, die Alpen würden so bleiben wie sie sind, wenn wir keine alpinen PV-Anlage bauen.

Gedankenexperiment mit Gondosolar:



Alpjerung oberhalb Gondo heute



Alpjerung mit geplanter PV-Anlage

Bildquelle: Projekt Gondosolar, gondosolar.ch

Gedankenexperiment mit Gondosolar:



Was würden besorgte Natur- und Landschaftsschützer sagen, wenn auf Alpjerung **Mais-Anbau** anstelle einer PV-Anlage geplant würde?

- Mais-Anbau würde den Boden und die Vegetation komplett verändern (intensive Bewirtschaftung, Monokultur, Pestizideinsatz, Bodenverdichtung)
- Visuelle Beeinflussung wäre wohl im Sommer etwa gleich wie bei einer PV-Anlage

Wir müssen unsere Einstellung zu alpinen PV-Anlagen überdenken. Bei entsprechender Auslegung kann sich alpine PV positiv auswirken. Dies muss das Ziel sein.

Zentrale Fragen für die Energiewende

- Wie weit kann das Potenzial für PV auf Gebäuden (50 bis 60 TWh/a) in den nächsten 20 Jahren ausgeschöpft werden (heute 4.2%)?
- Wie weit kann das Potenzial von ca. 10 TWh/a für PV auf Infrastrukturen in den nächsten 20 Jahren ausgeschöpft werden?
- Bau von Windkraftanlagen?
- Wann werden die restlichen Atomkraftwerke vom Netz genommen?
- Wie soll der Strom für den Winter gespeichert oder produziert werden?
- Effizienz des Gesamt-Energie-Systems (mit/ohne Wasserstoff, usw.)

=> Bedarf an PV-Strom auf Freiflächen (Mittelland bzw. Alpen)

Take Home Messages

- 1) Um ihren fairen Beitrag im Kampf gegen die Klimaerhitzung zu leisten, muss die Schweiz mindestens 5 Mal rascher auf erneuerbare Energien umsteigen und Energie sparen als heute.
- 2) Das PV-Potenzial auf den Gebäuden ist gross, wird aber trotz guter Wirtschaftlichkeit erst zu 3.4% genutzt. Ohne Obligatorium kann wohl nur ein Bruchteil des Potenzials realisiert werden.
- 3) Alpine PV-Anlagen liefern die Hälfte des Stromes im Winter zu ähnlichen Kosten wie PV auf Gebäuden. Zusatznutzen: Bedarf zur saisonalen Speicherung wird reduziert.
- 4) Mit Photovoltaik auf Freiflächen (insbesondere in den Alpen und Agro-PV) sollten **jetzt** Erfahrungen gesammelt werden (-> 4 bis 5 grosse Projekte).

Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Adresse für Rückfragen:

ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
IUNR Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Jürg Rohrer, Prof. für Ecological Engineering
Campus Grüental
8820 Wädenswil

Juerg.Rohrer@zhaw.ch Tel. 058 934 54 33
www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien/