



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Elektrische Netze mit dezentraler erneuerbarer Produktion, Speichern und Verbrauchern

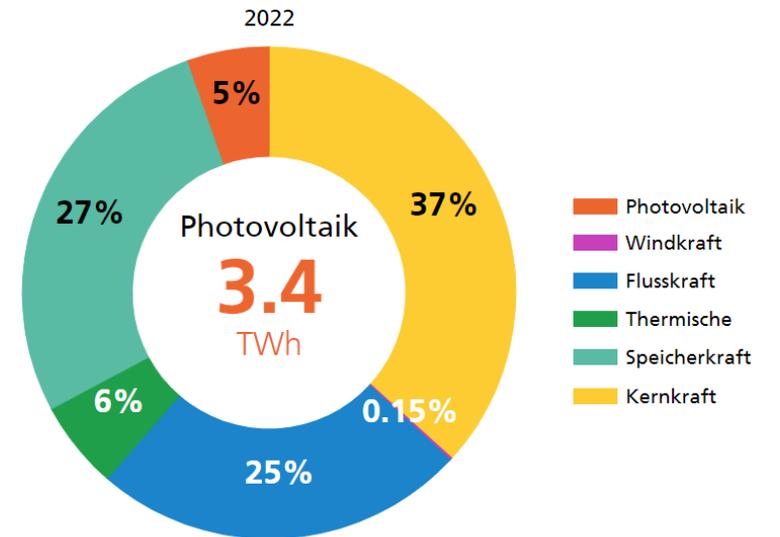
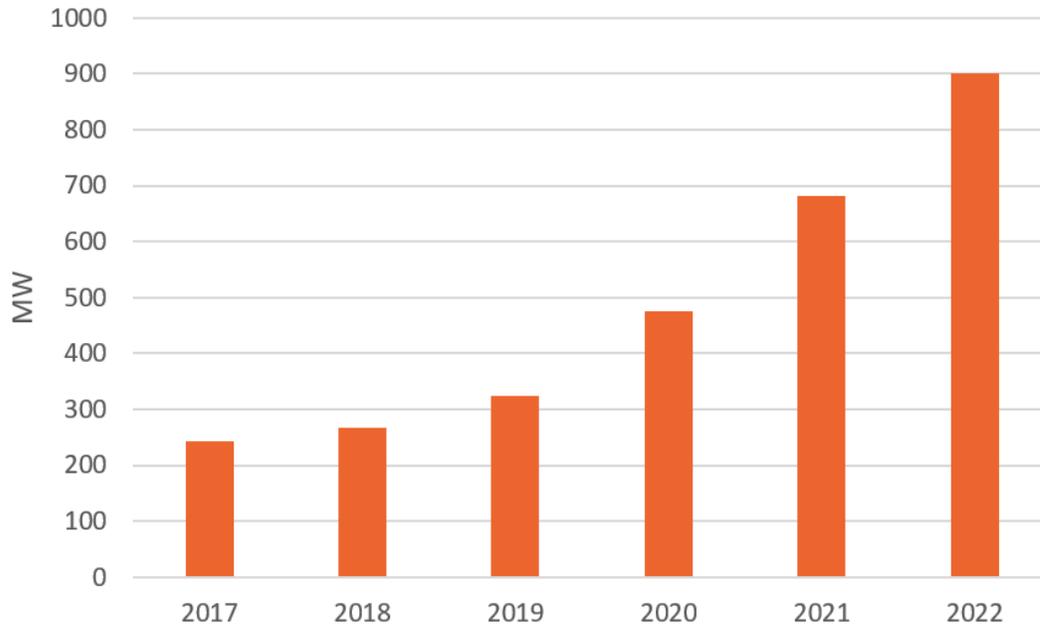
Stefan Oberholzer, Bundesamt für Energie BFE



Dezentrale Produktion: Schweizer PV-Zubau

Total installiert (Ende 2022*): ~4,6 GW
Ø-Zubaurate (2018–2022): 35 %

Produktion: ~4,4 TWh **



Quelle: BFE, Energiestatistik (+ Abschätzung Swissolar 2022)

Quelle: <https://energiedashboard.admin.ch/strom/produktion>

* inkl. Prognose Swissolar für 2022

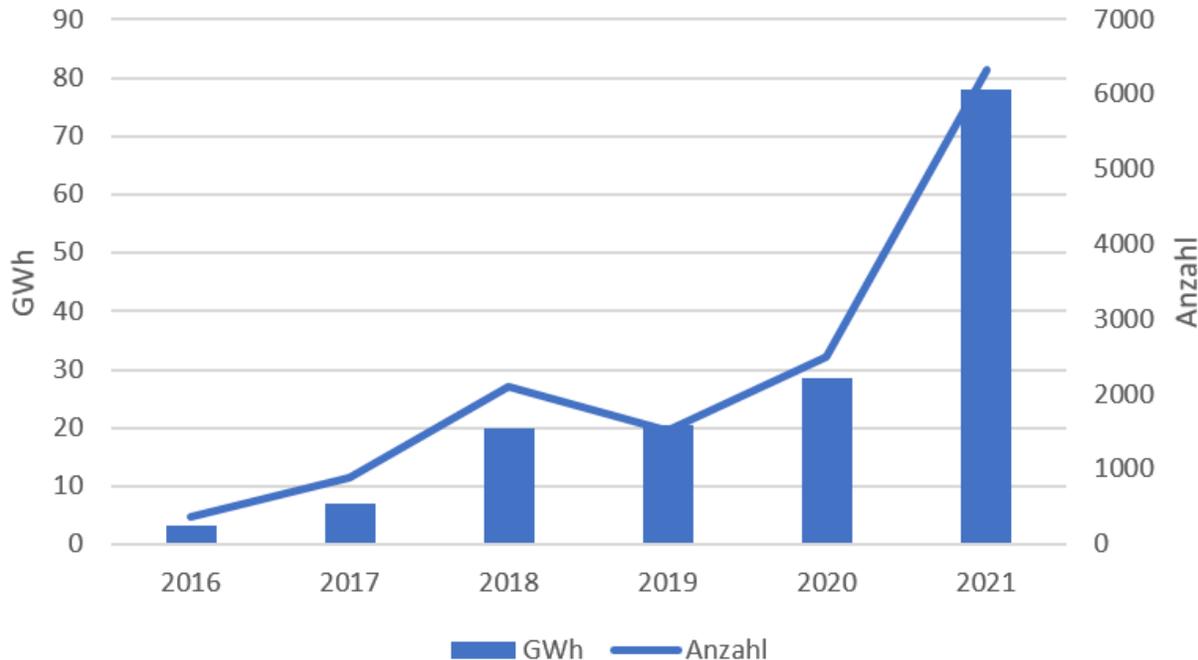
** Die bis Ende 2022 installierte PV-Leistung liefert ab 2023 jährlich rund 4,4 TWh Strom.



Dezentrale Speicher: PV-Batterie-Speicher

Total installiert 2021: **0,16 TWh**
Ø-Zubaurate (2017–2021): **~100 %**

Durchschnittliche
Speichergrösse: 10 kWh



Zum Vergleich:
Theoretische Kapazität von
Pumpspeicherkraftwerken mit
Volumina von Unter- und
Oberbecken: ~0.3 TWh

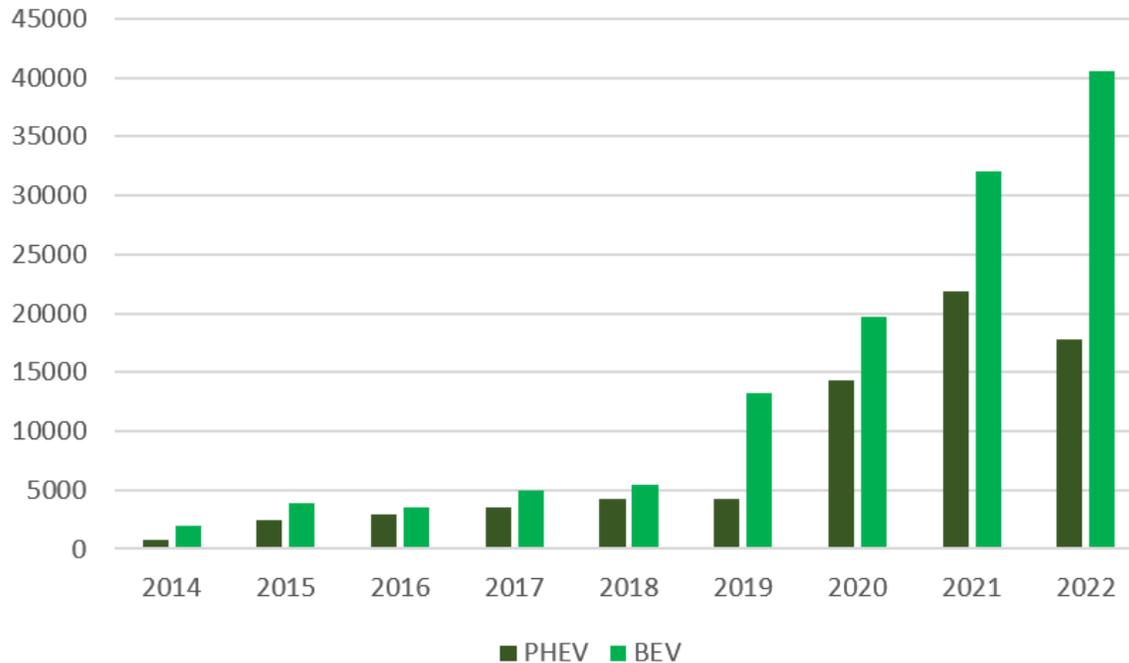
Kapazität Wasserspeicher: 8.8 TWh

Quelle:
BFE, Energiestatistik



Dezentrale Verbraucher/Speicher: **E-Mobilität**

Bestand 2022: **110'751 BEV** **64'045 PHEV**
Ø-Rate (2015–2022): : **~50 %**, **~65 %**



BEV: 50 kWh
PHEV: 10 kWh

-> Speicherkapazität: 6,2 GWh

BEV: 20 kWh/100 km, 20 000 km/Jahr
PHEV: 20 kWh/100 km, 10 000 km/Jahr elek.

-> Strombedarf: 0,6 TWh

Ladeinfrastruktur (April 2022):
400 MW, 10 700 Stationen
-> Ø 37 kW

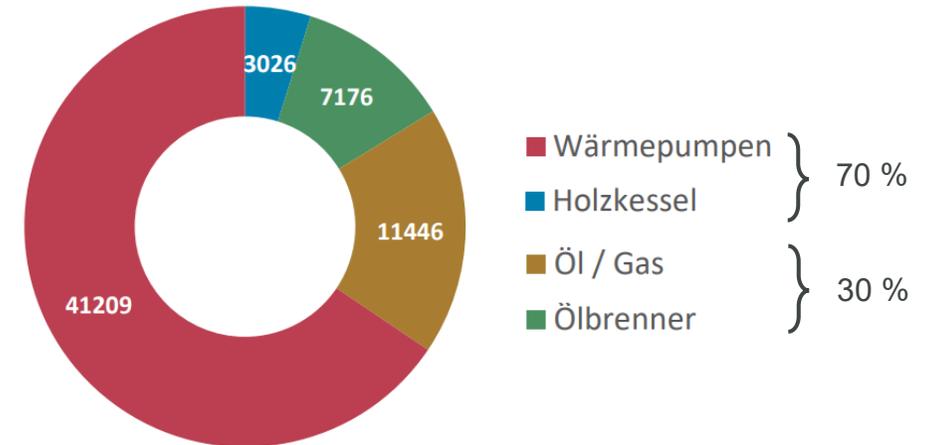
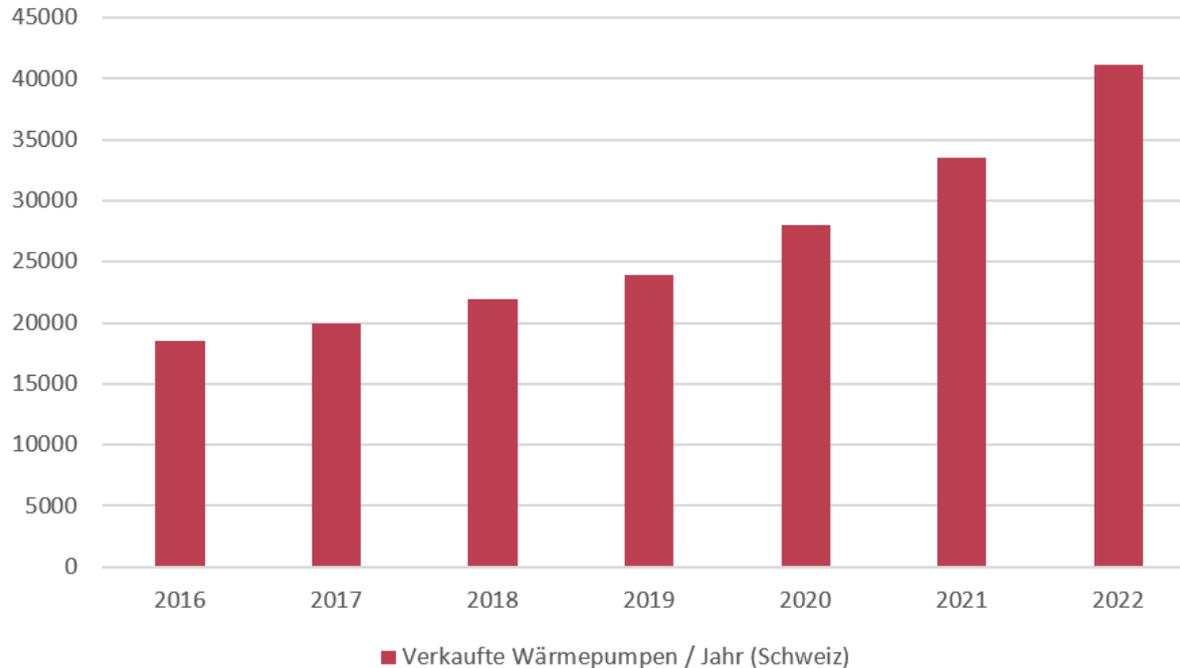
Quelle: BFS



Dezentrale Verbraucher: **Wärmepumpen**

Total installiert 2022: **1,6 GW**
Ø-Zubaurate (2016–2022): **>10 %**

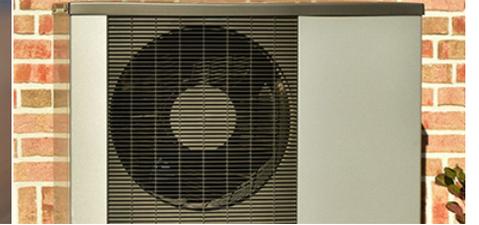
Verbrauch 2022: **~2,8 TWh**



Quelle:
BFE, Energiestatistik
<https://energiedashboard.admin.ch/strom/produktion>



Herausforderungen für das elektrische Netz



Photovoltaik
35 % / Jahr

Batteriespeicher
100 % / Jahr

E-Mobilität (BEV)
50 % / Jahr

Wärmepumpen
15 % / Jahr

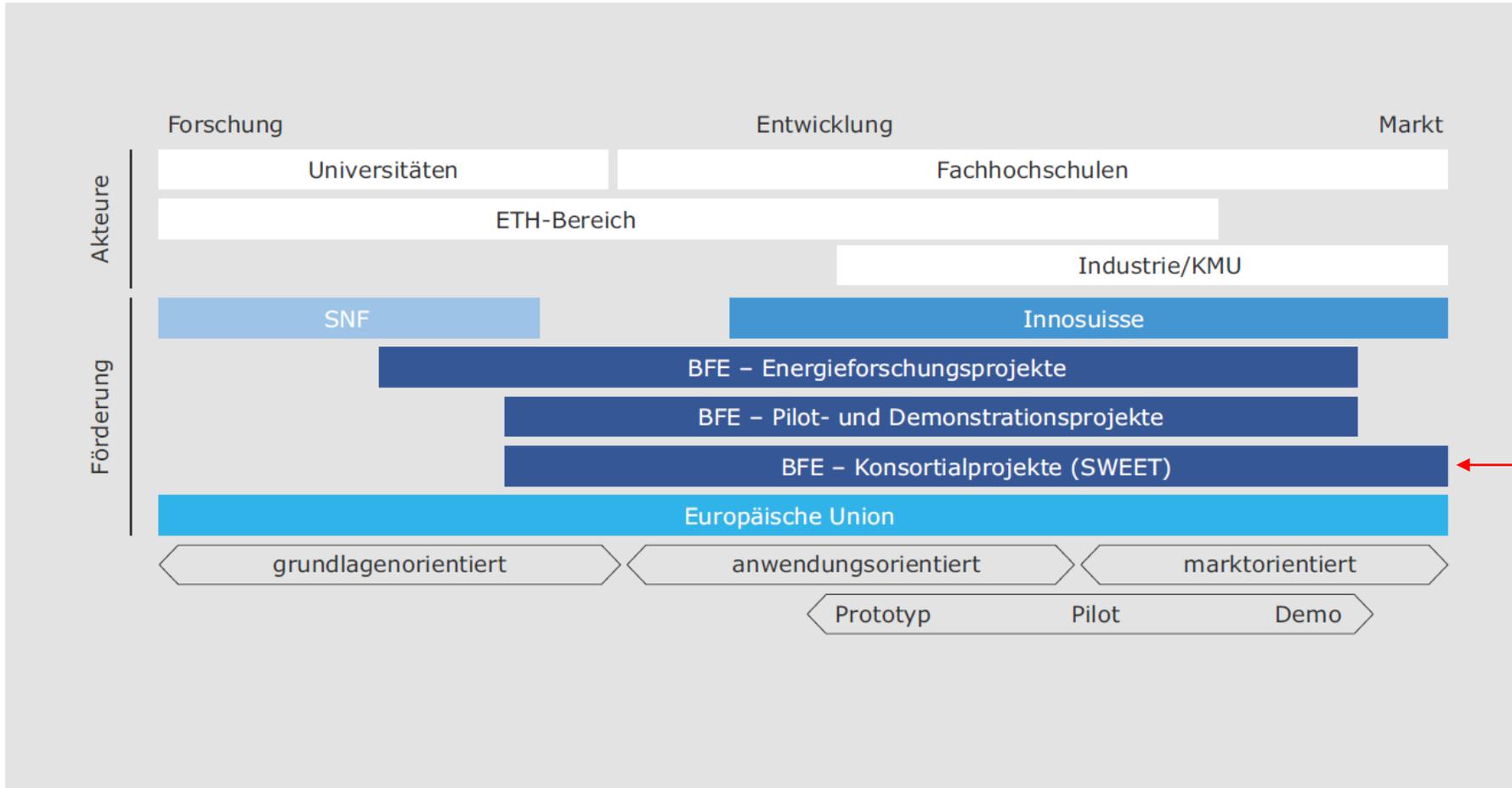
Zubauraten:

dezentrale Einspeisung	heute	3,8 GW	3,4 TWh	V2G			
	2028	17 GW	15 TWh				
dezentrale Speicher	heute	0,25 GWh		V2H			
	2028	8 GWh					
dezentrale Verbraucher	heute			6,2 GWh	0,6 TWh	1,6 GW	2,8 TWh
	2028			47 GWh	4.5 TWh	3.2 GW	5.6 TWh

Vertikale Netzlast heute: 5 GW (Sommer) bis 8 GW (Winter)



Projektförderung durch das BFE



Das Bundesamt für Energie (BFE) koordiniert Forschung und Innovation im Energiebereich über einen grossen Teil der Wertschöpfungskette (Innosuisse = Schweizerische Agentur für Innovationsförderung; SNF = Schweizerischer Nationalfonds).



BFE Programme

Effizienz:

BFE Gebäude und Städte	BFE Mobilität	BFE Netze
BFE Batterien	BFE Elektrizitätstechnologien	BFE Verbrennungsbasierte Energiesysteme
BFE Wärmepumpen und Kältetechnik	BFE WKK Wärme-Kraft-Kopplung	BFE Industrielle Prozesse
BFE Gaskraftwerke und CCS	BFE Brennstoffzellen	

Erneuerbare:

BFE Solarthermie und Wärmespeicherung	BFE Photovoltaik	BFE Solare Hochtemperaturenergie
BFE Wasserstoff	BFE Bioenergie	BFE Wasserkraft
BFE Geoenergie	BFE Windenergie	BFE Stauanlagensicherheit

Nuklearenergie:

BFE Radioaktive Abfälle	BFE Kernenergie	Sozio-ökonomische Forschung: BFE Energie – Wirtschaft – Gesellschaft
-------------------------	-----------------	---

BFE Pilot und Demonstration	BFE SWEET
-----------------------------	-----------



BFE-Projekte zum Thema:



Rolle von Wechselrichter im elektrischen Netz:

«*GREAT – Grid-forming control of renewable generation and power electronics*»

Mit Synchrongeneratoren sorgen Grosskraftwerke heute für Stabilität im Stromnetz. Der Anteil dieser Versorgung wird mit dem Zubau an dezentraler erneuerbarer Energieerzeugung kleiner werden und verschwinden, so dass Wechselrichter diese Funktion übernehmen müssen (netzbildende Wechselrichter).

In einem Projekt mit der ETH Zurich wurde ein neuartiges, einheitliches Regelungskonzept, entwickelt, das die Fähigkeiten von Wechselrichtern im Zusammenhang mit erneuerbarer Energieerzeugung (PV), Speichersystem etc. für eine autonome Primärregelung voll ausschöpft und mit den vorherrschenden Sekundärregelungsarchitekturen integriert.

Da das elektrische Netz voraussichtlich Millionen von verteilten Geräten enthalten wird, ist eine zentrale Koordinierung auf den Zeitskalen der Primärregelung weder wünschenswert noch praktikabel. Das Projekt zielte daher darauf ab, Regelungsalgorithmen zu entwickeln, die ein hohes Mass an Selbstorganisation des Systems gewährleisten.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=68707>





Rolle von Wechselrichter im elektrischen Netz:

«*UNICORN – A Unified Control Framework for Real-Time Power System Operation*»

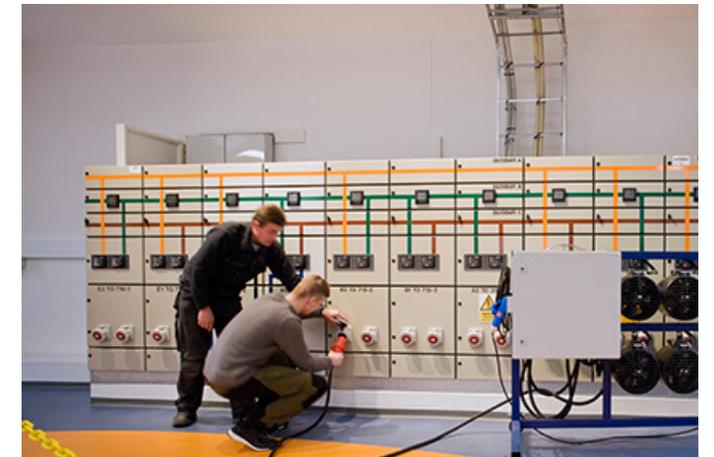
<https://unicorn.control.ee.ethz.ch/>

Entwicklung eines Steuerungskonzept, das eine autonome Netzsteuerung in Echtzeit ermöglicht.

Die Schlüsselidee besteht darin, iterative Optimierungsalgorithmen in robuste Regler mit Ausgangsrückkopplung anzupassen (Feedback-Optimization). Das Projekt hat gezeigt, dass die Feedback-Optimierung für die Entwicklung automatischer Regler für den Echtzeitbetrieb des Netzes verwendet werden kann, insbesondere für die Blindleistungskompensation.

Theoretische Grundlagen wurde in einer dreijährigen Zusammenarbeit mit dem französischen Übertragungsnetzbetreiber RTE entwickelt, in Proof-of-Concept-Experimenten an einem kleinen Verteilungsnetz erprobt und durch numerische Simulationen an einem realen Teil des französischen Unterübertragungsnetzes mit einem hohen Anteil an Windenergieerzeugung validiert.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=68654>





BFE-Projekte zum Thema:

ETH zürich

HITACHI **ABB**

Rolle von Wechselrichter im elektrischen Netz:

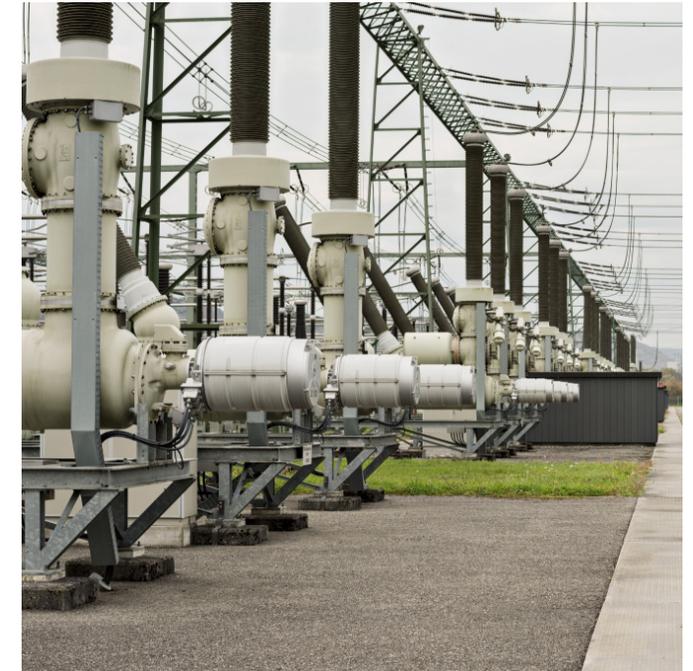
«ACSICON – Novel Analysis and Control Solutions for Dynamic Security Issues in the future ENTSO-E network with high Converter-Based Generation»

Im Rahmen des Projekts wurden das Potenzial der Netzunterstützung durch Wechselrichter untersucht, um Durchdringungsgrade von netzbildenden mit Wechselrichtern verbundenen dezentralen Energiequellen wie PV von über 100 % der Verteilnetzlast zu ermöglichen. D

Eine grosse Störung in Form eines Systemsplits des kontinentalen ENTSO-E-Systems wurde für mehrere Entwicklungspfade von Umrichtern, die Synchronmaschinen ersetzen, untersucht.

Es wurde festgestellt, dass die Ausstattung eines kleinen Anteils der neuen Umrichter (5 bis 10 %) mit Netzunterstützungsfunktionen ausreicht, um die dynamische Leistung des Stromnetzes auf dem heutigen Niveau zu halten, selbst wenn ansonsten mehr als 50 % der synchronen Erzeugung durch statische Umrichter ohne Netzunterstützung ersetzt werden.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=67536>





BFE-Projekte zum Thema:

Laststeuerung im Verteilnetz u.a.

«ProFlex – Prosumer-Flexibilisierung»

Analyse der Möglichkeiten, welcher ein kleiner VNB zur Beeinflussung des Lastprofils in seinem Versorgungsgebiet hat.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=65102>

«OptiFlex – Optimierter Flexibilitätseinsatz im Verteilnetz»

Im Projekt konnte eine Technologieplattform entwickelt und in Feldtests demonstriert werden, die eine kosteneffiziente Steuerung von dezentralen Anlagen im Verteilnetz möglich macht. Die wichtigsten Innovationen sind der Einsatz von «Internet of Things» Hardware und die konsequente Nutzung von Fahrplansteuerung statt Echtzeitkommunikation.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=65148>

«BackupFlex – Notbetrieb mit dezentralen Anlagen»

Im Projekt «BackupFlex» konnte in praktischen Feldtests demonstriert werden, wie die Notstromversorgung von Landwirtschaftsbetrieben auch über einen längeren Zeitraum, z.B. während eines grossräumigen Blackouts, sichergestellt werden kann.

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=69911>



BFE-Projekte zum Thema:

«Intelligente» Wechselrichter

«*Blindleistungskompensation in der Fabrik Camille Bloch mit PV-Wechselrichtern*»

-> präsentiert an der [BFH Fachtagung Netzanschluss 2022](#).

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Dokument.aspx?DocumentID=65068>

Dezentrale Speicher

«*Bat4SG – Netz-optimierter Betrieb von dezentralen Kundenspeichern*»

-> präsentiert an der [BFH Fachtagung Netzanschluss 2022](#).

Schlussbericht: <https://www.aramis.admin.ch/Default?DocumentID=68843>

Vehicle-to-Grid

«*SunnyParc*» und «*V2XSuisse*»

-> präsentiert an der [BFH Fachtagung Netzanschluss 2022 \(Sun2Wheel\)](#).

<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=47507>

<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=49448>



BFE-Projekte zum Thema:

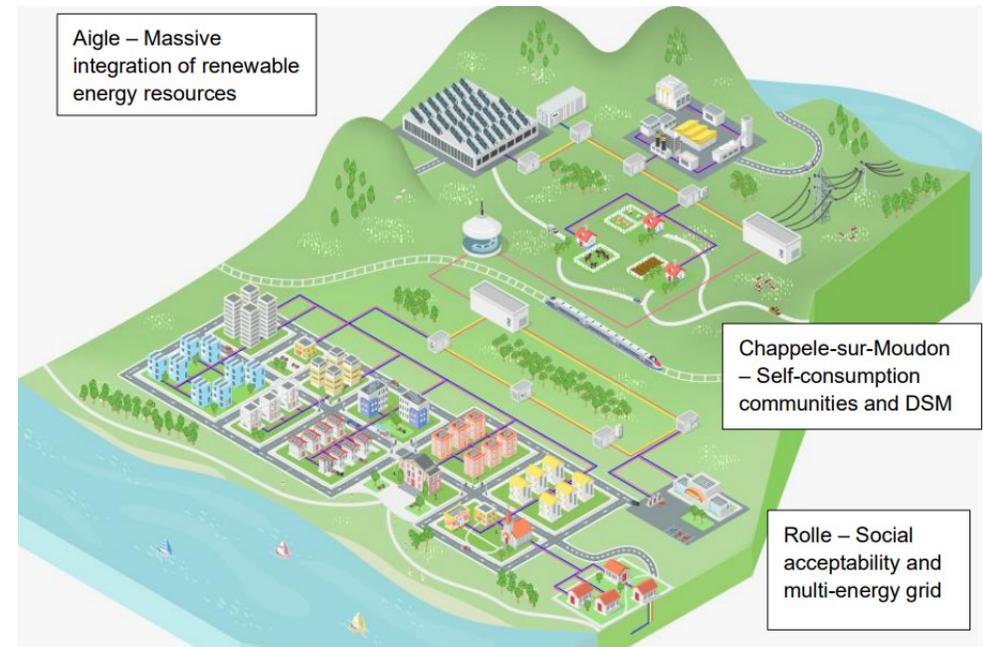


Verschiedenes:

PV-Prognosen, Speicherbewirtschaftung, Sensing (PMU), Geschäftsmodelle etc.

«*REEL Demo – Romande Energie Electric network in local balance Demonstrator*» (BFE-P+D)

Verschiedene Integrationslösungen, die speziell auf aktive lokale Verteilnetze oder Active Distribution Networks (ADNs) zugeschnitten sind, wurden hier in einem realen Betriebsumfeld getestet, um so eine Validierungsplattform sowohl für die akademische Welt als auch für die Industrie dienen kann.



Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana





BFE-Projekte zum Thema:

NA-Schutz bei Wechselrichtern

«NAEEA+ – Netz- und Anlagenschutz zur optimalen und sicheren Integration von dezentralen Energieerzeugungsanlagen im Verteilnetz»

-> heute präsentiert an der BFH Fachtagung Netzanschluss 2023.

Lösungsansätze für Verteilnetzstabilisierung mit PV: P(U)-Parametrierung

«GODA – Netzoptimierung mit dezentralen Akteuren»

<https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=49396>

https://www.swissolar.ch/fileadmin/user_upload/Tagungen/PV-Tagung_2022/PVT22_6.2_Peter_Cuony.pdf



Übersichten BFE-Projekte

Netze

<https://energyresearch.ch/aramis.php?PR=grid>

Batterien

<https://energyresearch.ch/aramis.php?PR=batt>

Photovoltaik

<https://energyresearch.ch/aramis.php?PR=pv>

Pilot und Demonstration

<https://energyresearch.ch/aramis.php?PR=pilot>



Internationale Zusammenarbeit



IEA-Photovoltaikprogramm (IEA PVPS, <https://iea-pvps.org/>)

Task 14: «Solar PV in the 100% RES Power System» (BFH, Planair)

-> New Task Definition Workshop, Intersolar München, 15.6.2023

<https://www.intersolar.de/messeprogramm/high-penetration-solar-pv-in-a-100-renewable-energy-based-power-system-pvps-grid-integration-new-task-definition-workshop-de>



IEA International Smart Grid Action Network (ISGAN) (<https://www.iea-iscan.org>)



IEA-Speicherprogramm (ES PVPS, <https://iea-es.org/>)

Task 32: «Modelling of Energy Storage for Simulation Optimization of Energy Systems» (CSEM, BFH)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Swiss Federal Office of Energy SFOE

Merci

Kontakt:

Dr. Stefan Oberholzer
Bundesamt für Energie
Leiter BFE-Forschungsprogramm Photovoltaik
CH-3003 Bern
stefan.oberholzer@bfe.admin.ch