

Saisonale Flexibilisierungsmöglichkeiten der Energieversorgung in der Schweiz

Tom Kober (PSI), Markus Friedl (HSR), Jonas Mühlethaler (Swissgrid)
Mittwoch 28. Februar 2018, FESS Speicher-Roundtable
Energiezentrale Forsthaus, ewb, Bern

Ziel der Studie

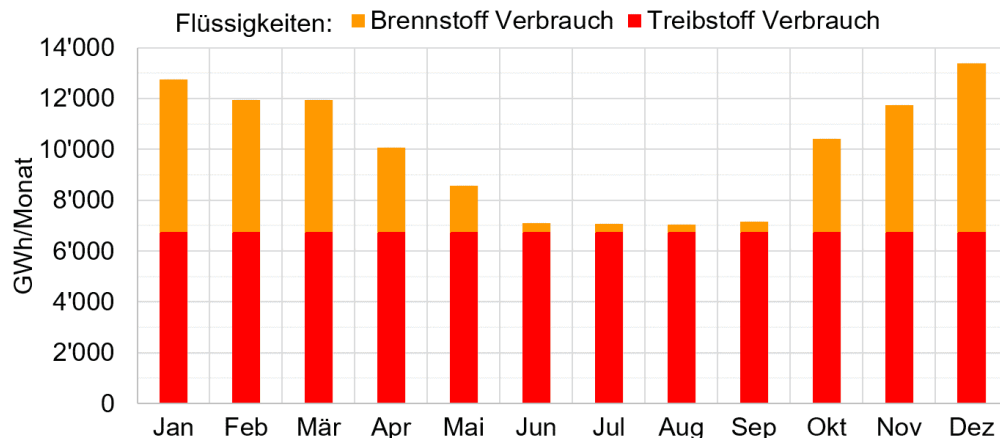
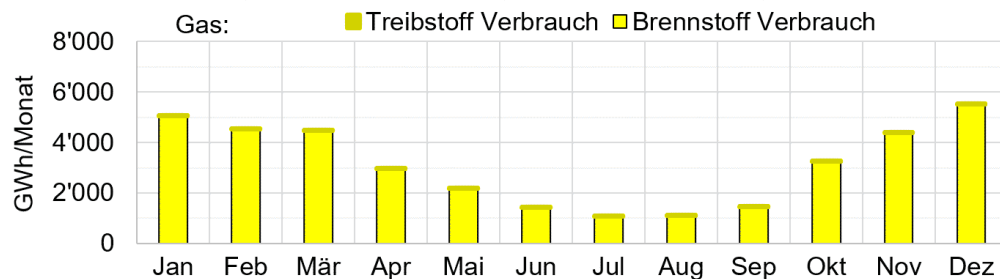
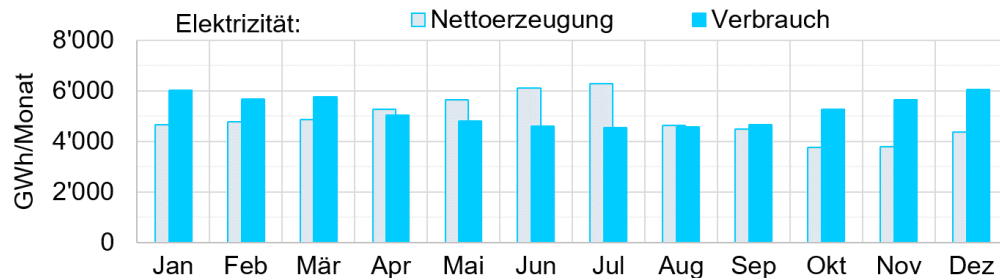
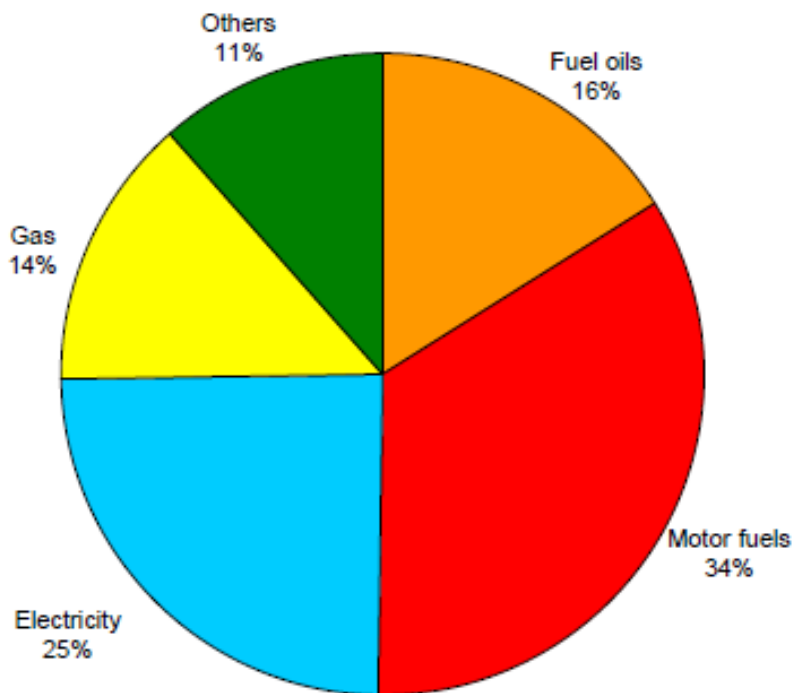
- Zusammentragen der Erkenntnisse zu saisonalen Flexibilisierungsoptionen für das Schweizer Energiesystem
- Basierend auf bestehenden Forschungsergebnissen / Veröffentlichungen
- Perspektive bis 2050
- Diskussion von Wechselwirkungen / Spannungsfeldern

Vortragsgliederung

- Status quo & Ausgangslage
- Diskussion der 4 Flexibilitätsoptionen
- Zusammenfassung & Schlussbetrachtung

Status-quo: Endenergieverbrauch in 2016 und saisonale Verteilung

Final Energy Consumption 2016
(Total: 854'300 TJ)



Ausgangslage und zentrale Annahmen

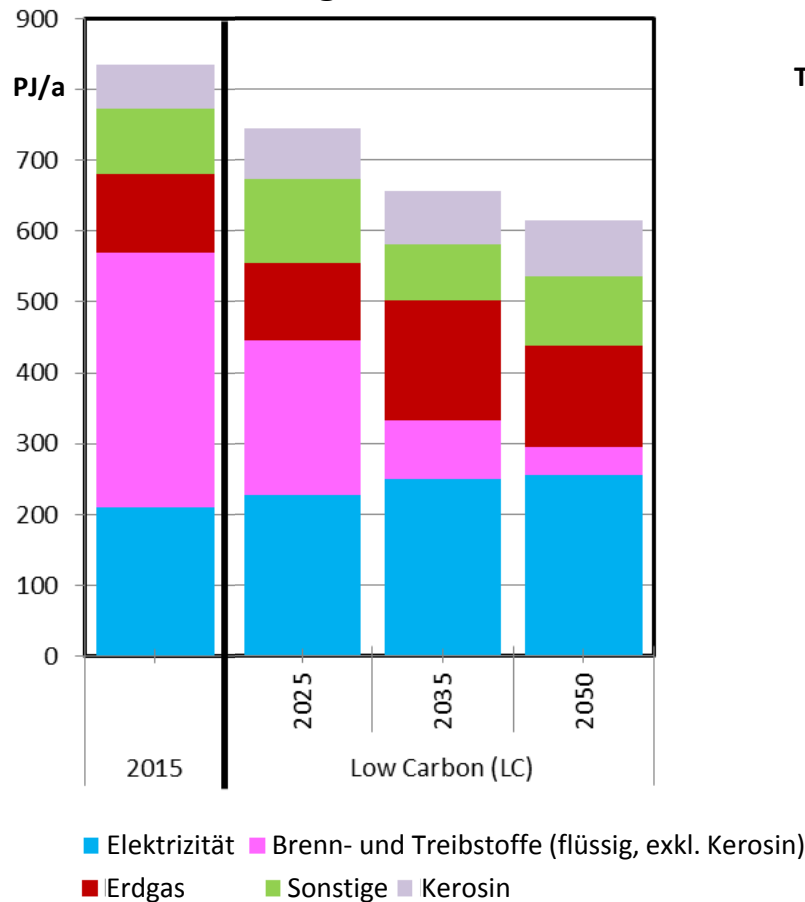
- Neuorganisation der Energieversorgung gemäss Energiestrategie 2050
 - Reduktion Endenergieverbrauch
 - Übergang zu erneuerbaren Energien
 - Ausstieg aus der Nutzung der Kernenergie
 - Reduktion von Treibhausemissionen
- Zunahme Stromverbrauch in Zukunft möglich
- Ersatz jahreszeitlich flexibel verfügbarer Energieressourcen (z. B. zur Bereitstellung von Wärme und Mobilität) durch Energie aus volatilen, erneuerbaren Energiequellen

→ **Zunehmender Bedarf an zeitlicher Flexibilisierung, insbesondere im Elektrizitätssystem**

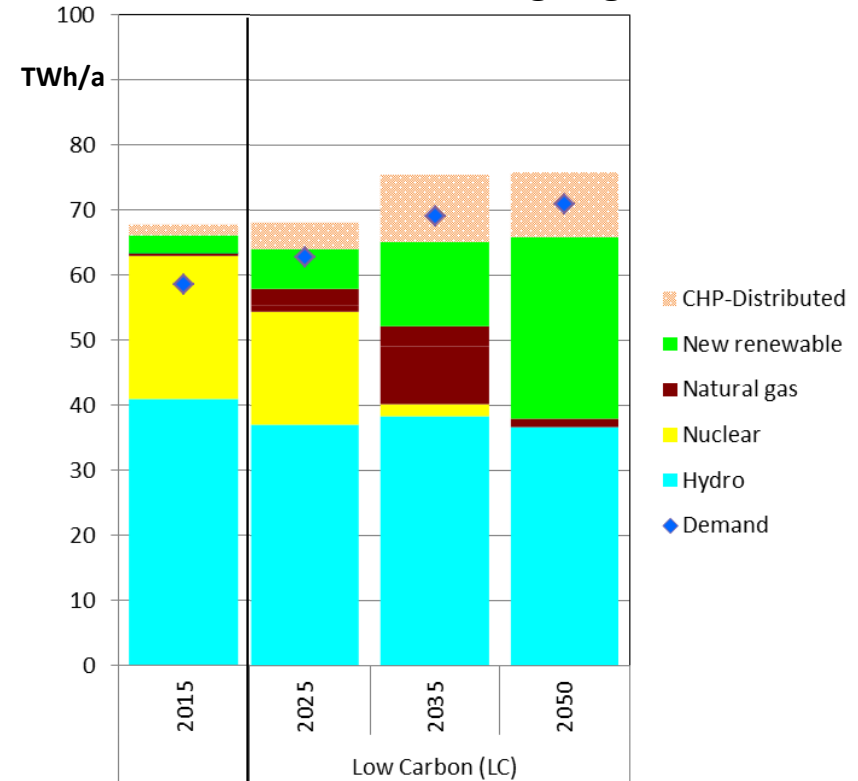
Flexibilität ist die Veränderung von Einspeisung oder Entnahme in Reaktion auf ein externes Signal (Preissignal oder Aktivierung) mit dem Ziel, eine Dienstleistung im Energiesystem zu erbringen (Def. gem. BNetzA)

Möglicher Transformationspfad des Energiesystems der Schweiz unter stringenter Klimaschutzpolitik

Endenergieverbrauch

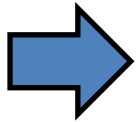


Elektrizitätserzeugung



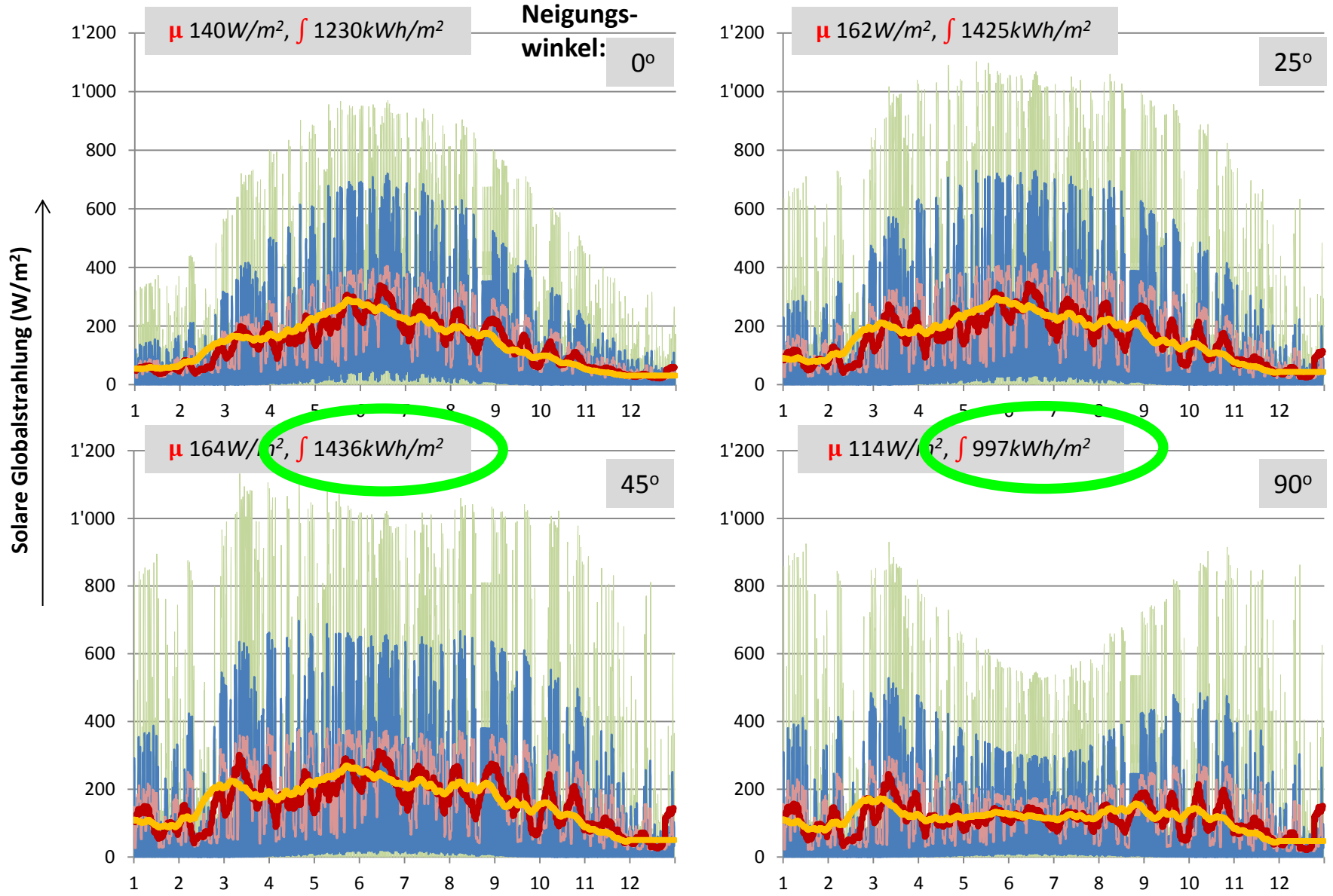
LC - Klimaschutzziel: -60% der energiebedingten CO₂ Emissionen bis 2050 ggü. 2010

4 Flexibilitätsoptionen für den saisonalen Ausgleich im Fokus



- Anpassung der Energieerzeugung
- Import / Export (Stromhandel)
- Energiespeicher (z.B. Speicherkraftwerke, Lager für flüssige Kraft- und Brennstoffe, Gasspeicher und saisonale Wärmespeicher), Sektorkopplung
- Anpassung der Energienachfrage (Hybrid-Technologien)

Solarstrahlung im Jahresverlauf (2005-Daten für Zürich)

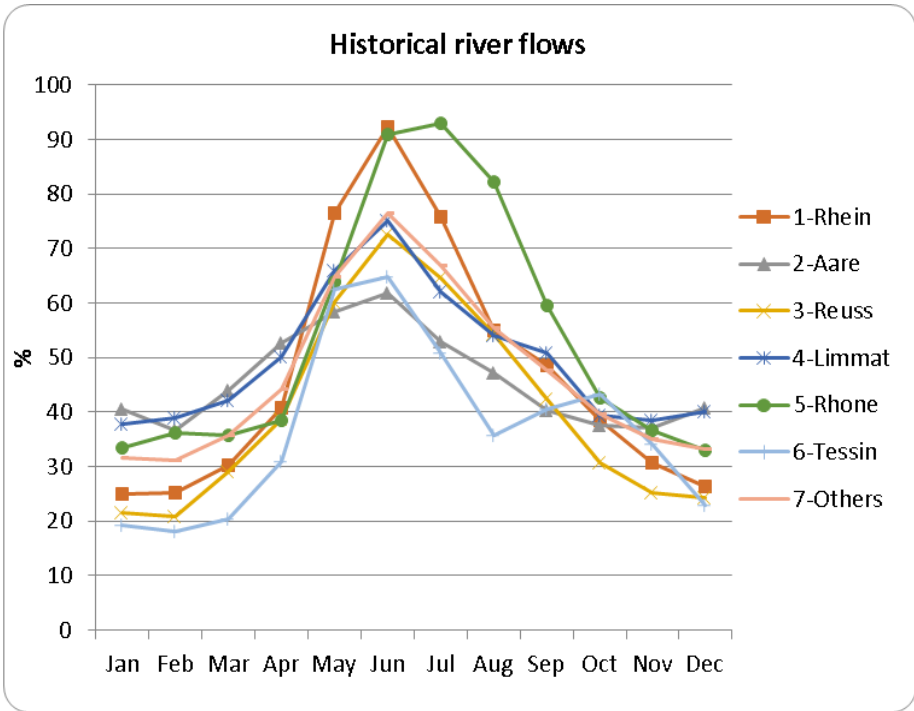


Solar PV als Herausforderung **und** Teil der Lösung

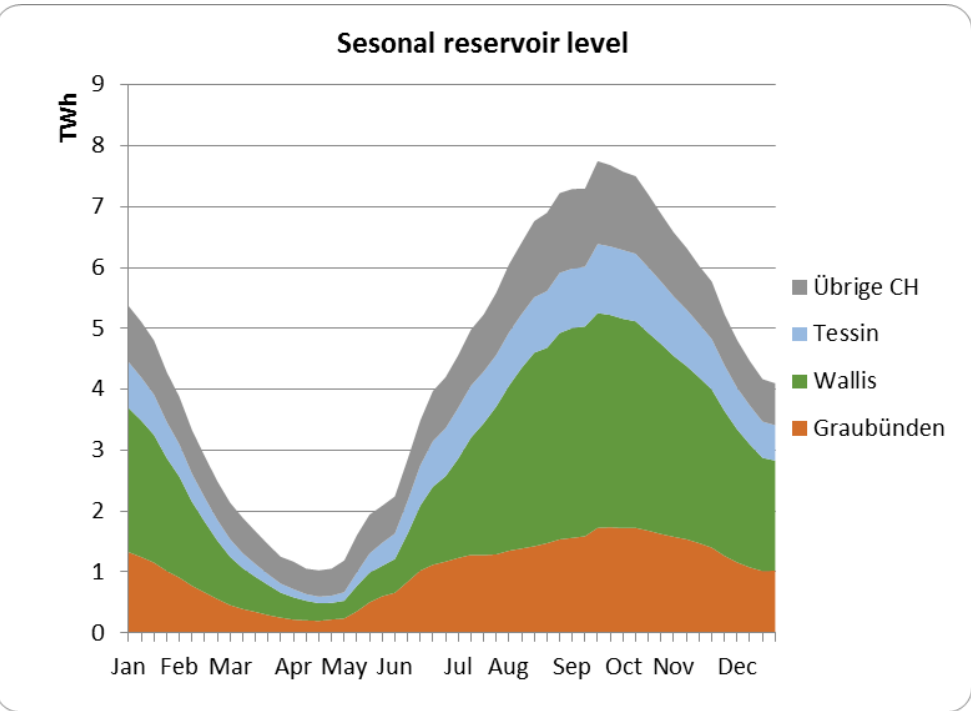
- Kurzfristflexibilität von herausragender Bedeutung für Integration von grossen Produktionsmengen aus Solar PV
- Gemittelte monatliche Produktion aus 20GW_p ¹ Solar PV kann im Sommer in etwa der heutigen Monatsproduktion der thermischen Kraftwerke (4GW) entsprechen; Winterproduktion aus Solar PV deutlich geringer
- Ausrichtung und gezielte Standortwahl der Solaranlagen kann helfen den saisonalen Flexibilitätsbedarf zu reduzieren. Aber:
 - erhöhte Investitionskosten → Marktanreize notwendig für bedarfsgerecht ausgerichtete Solarstromproduktion
 - räumliche Aspekte können eine Rolle spielen (Platzangebot f. Solar / verfügbares Potenzial)

Bewirtschaftung der Wasserkraftwerke

Laufwasserkraft (2015)



Speicherwasserkraft (2015)

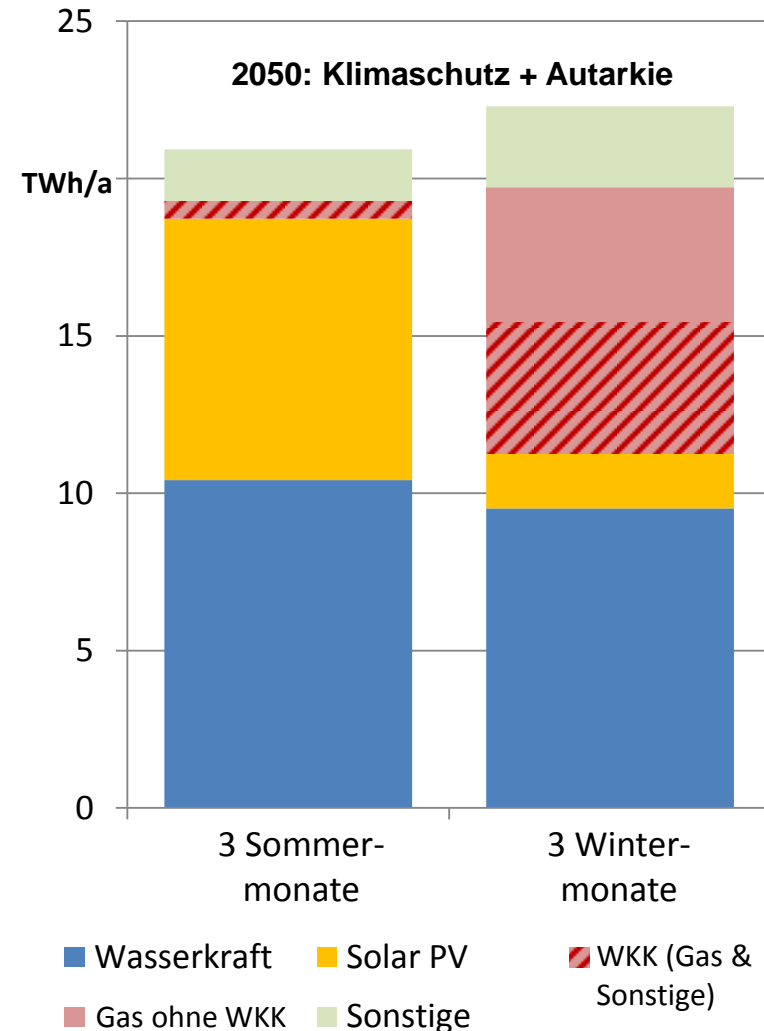


→ Wasserspeicher ermöglichen Verlagerung von ca. 7 TWh in den Winter

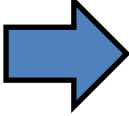
Zufluss	27'254 GWh		10'827 GWh
Produktion	22'439 GWh		17'829 GWh
	Sommer	7'002 GWh	Winter

Gaskraftwerke und verteilte Erzeugung mit WKK zum saisonalen Ausgleich

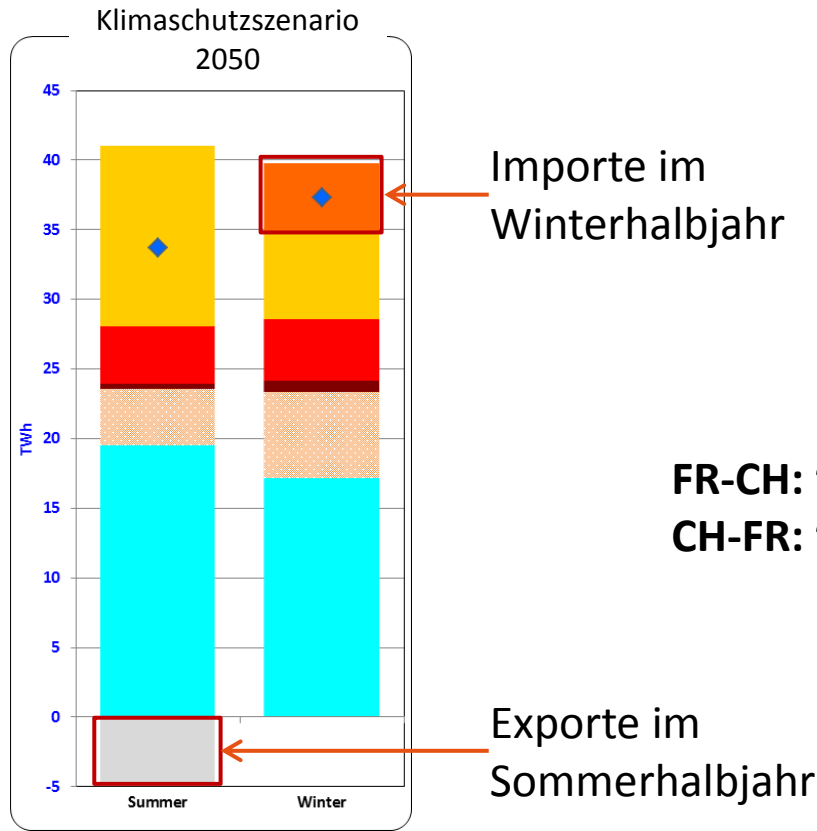
- Gaskraftwerke und sonstige verteilte Erzeugung mit WKK zur Kompensation reduzierter Solarstromproduktion im Winter
- Wärmeauskopplung aus WKK für Raumwärme primär in den Übergangsmonaten und im Winter
- Jahresauslastung der Gaskraftwerke ohne WKK kleiner 2000 Stunden
- Entstehende Treibhausgasemissionen müssen durch Minderungsmaßnahmen in anderen Sektoren kompensiert werden



4 Flexibilitätsoptionen für den saisonalen Ausgleich im Fokus

- Anpassung der Energieerzeugung
-  • Import / Export (Stromhandel)
- Energiespeicher (z.B. Speicherkraftwerke, Lager für flüssige Kraft- und Brennstoffe, Gasspeicher und saisonale Wärmespeicher), Sektorkopplung
- Anpassung der Energienachfrage (Hybrid-Technologien)

Stromaussehenhandel als kosteneffiziente saisonale Flexibilitätsoption bei hohen Kuppelleitungskapazitäten



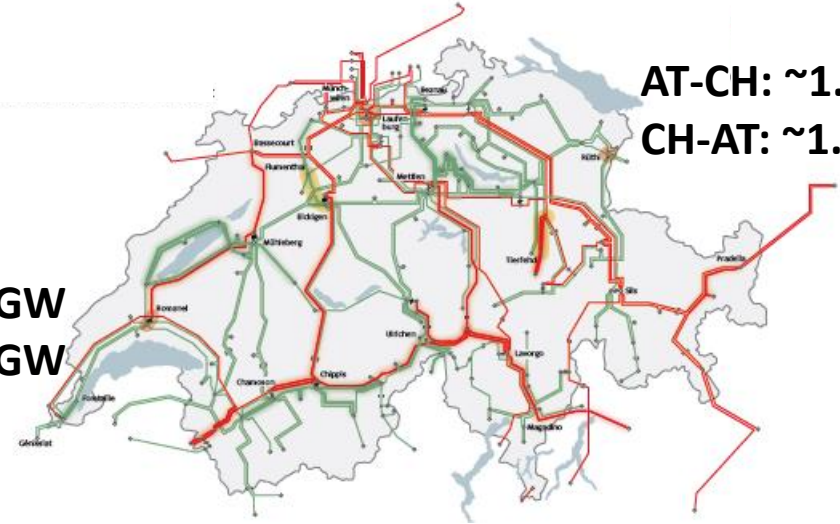
■ Hydro ■ Gas ■ CHP-Dist ■ Solar ■ Others
■ Storage ■ Net export ■ Net import ◆ Demand

DE-CH: ~4.4GW
CH-DE: ~6.1GW

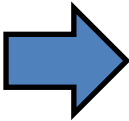
AT-CH: ~1.0GW
CH-AT: ~1.9GW

FR-CH: ~3.2GW
CH-FR: ~1.7GW

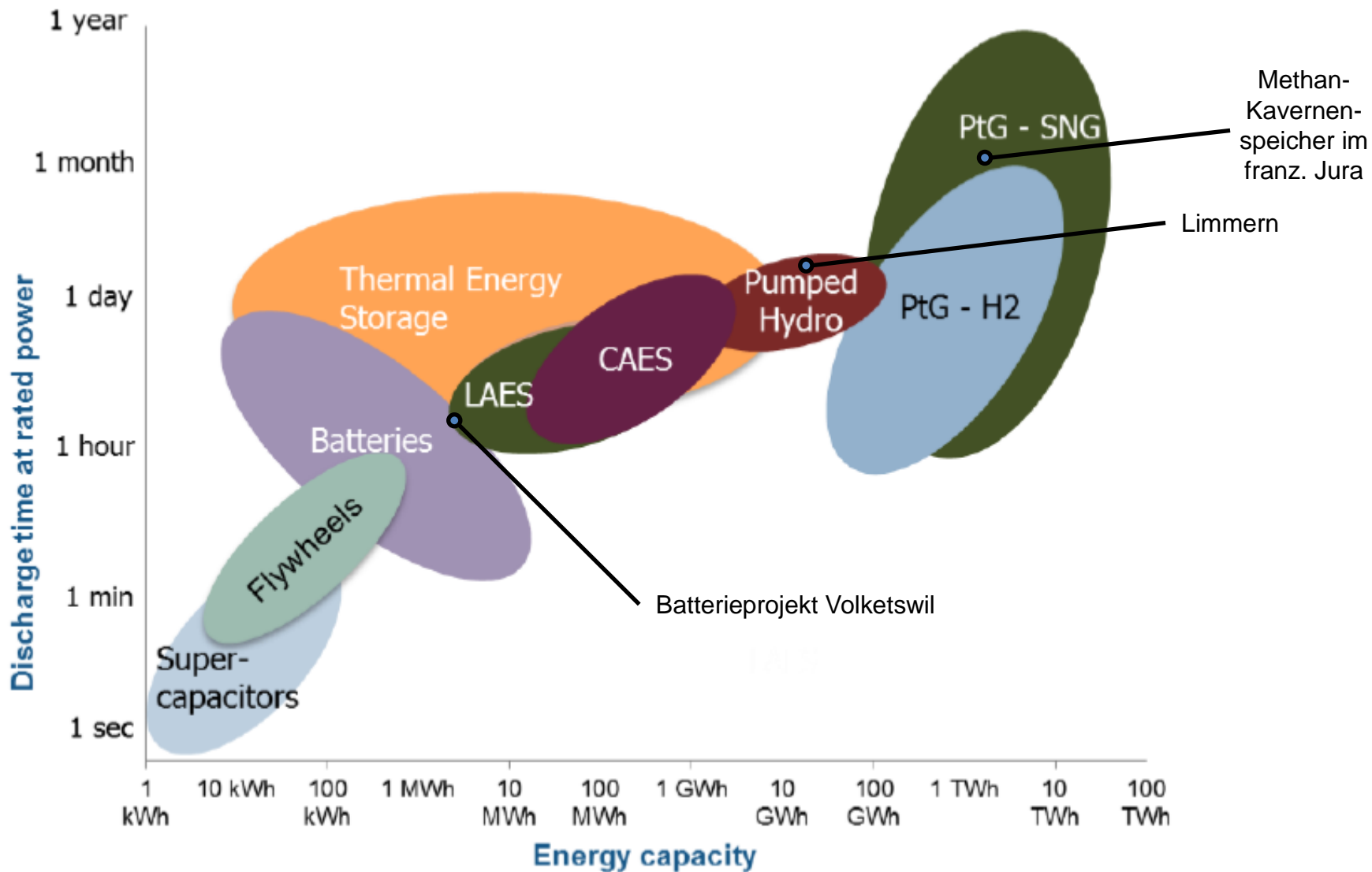
IT-CH: ~3.1GW
CH-IT: ~5.5GW



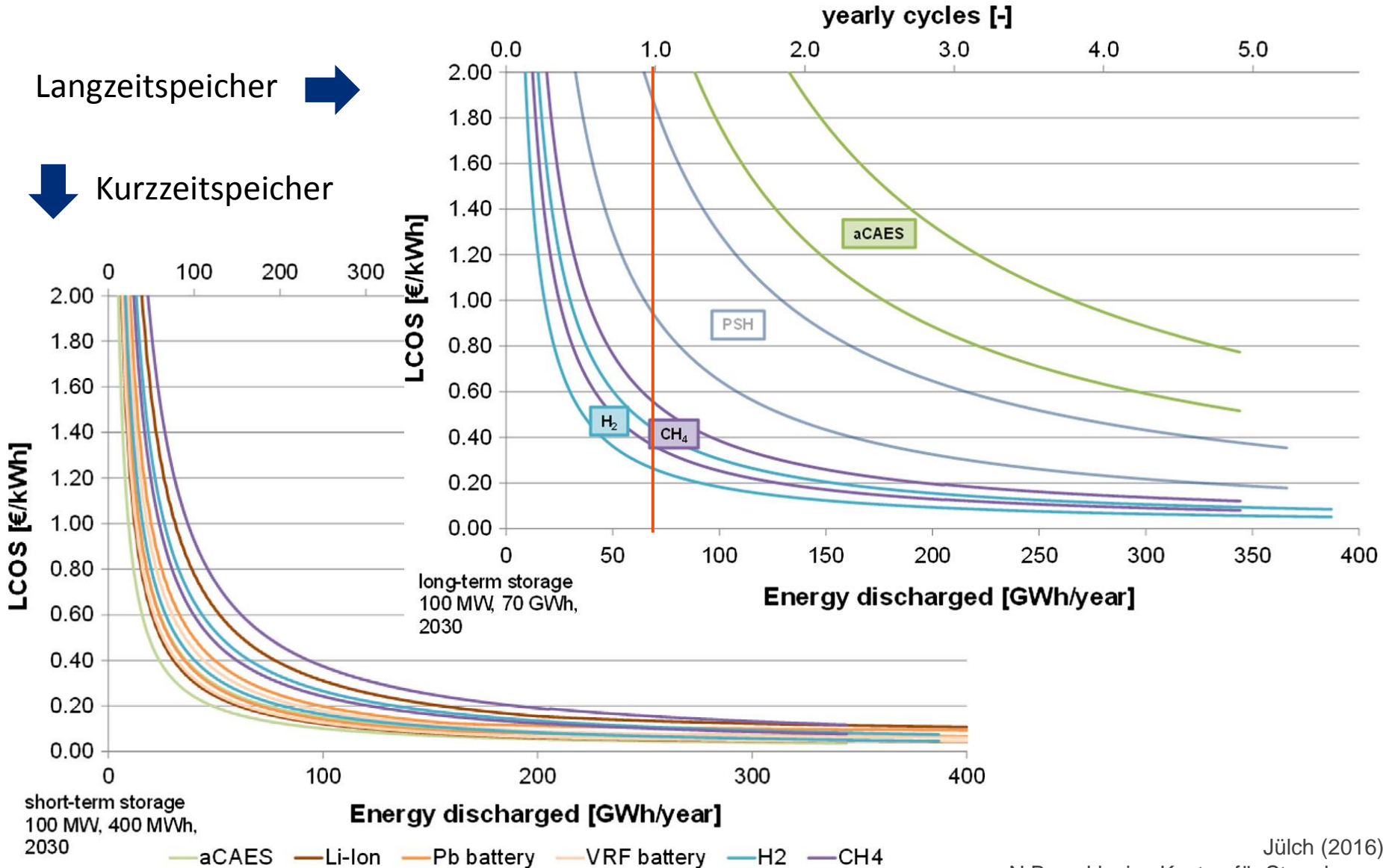
4 Flexibilitätsoptionen für den saisonalen Ausgleich im Fokus

- Anpassung der Energieerzeugung
- Import / Export (Stromhandel)
-  • Energiespeicher (z.B. Speicherkraftwerke, Lager für flüssige Kraft- und Brennstoffe, Gasspeicher und saisonale Wärmespeicher), Sektorkopplung
- Anpassung der Energienachfrage (Hybrid-Technologien)

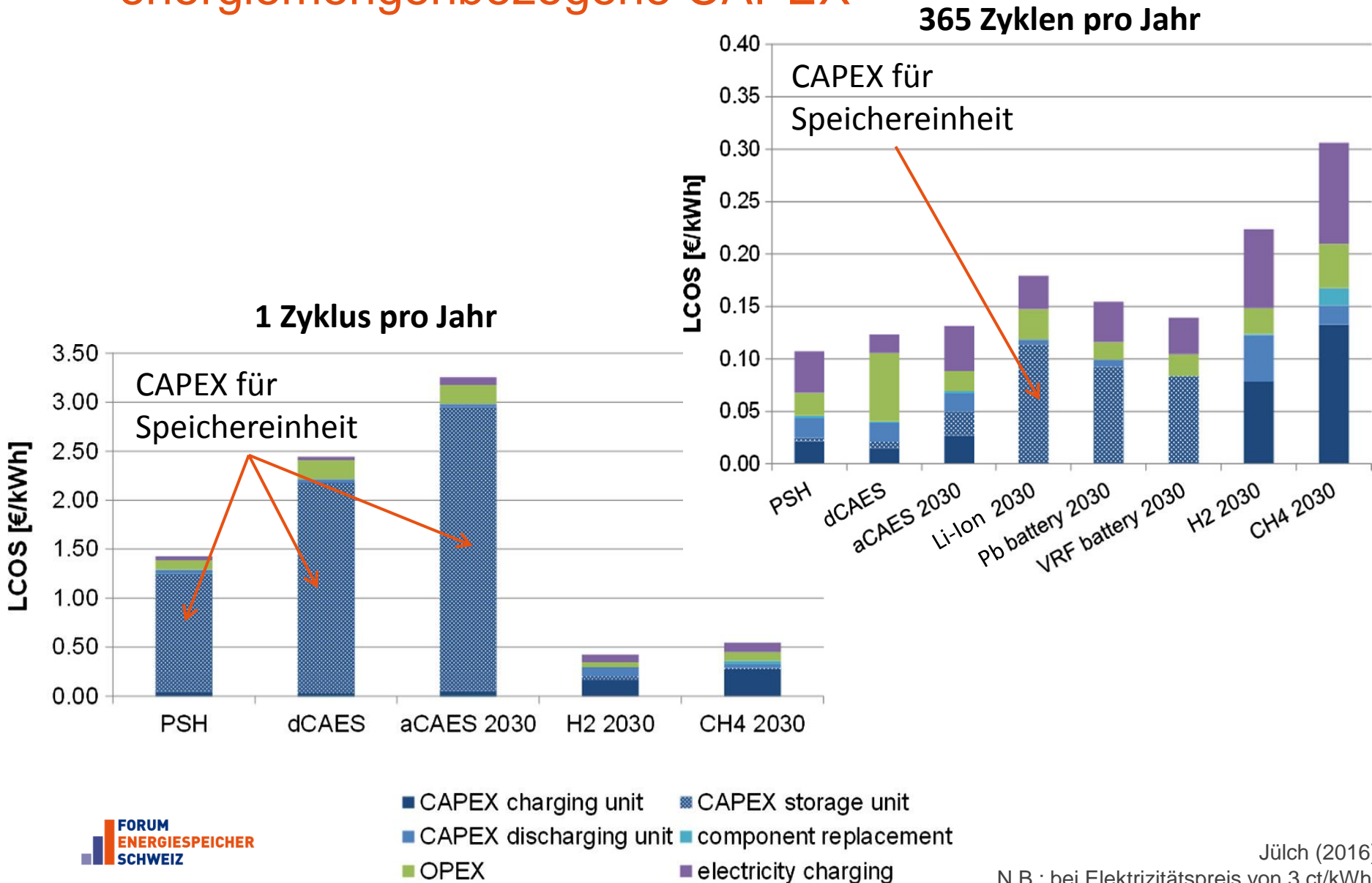
Übersicht Speichertechnologien



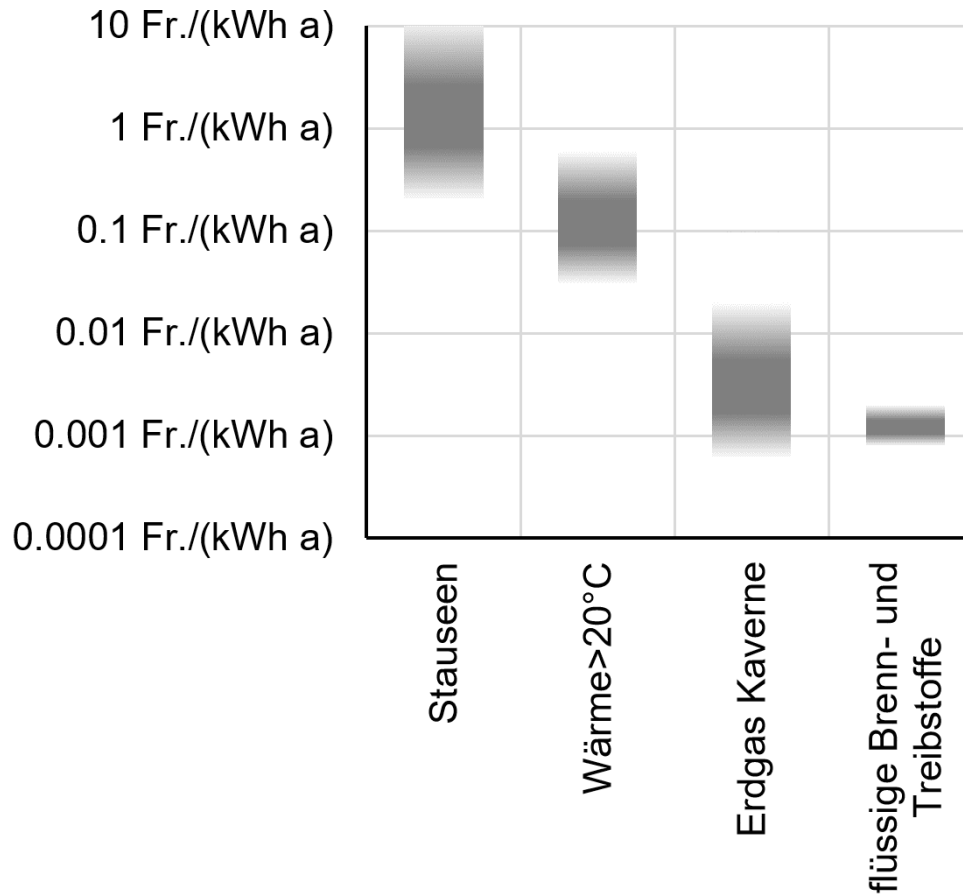
Speicherkosten in Abhängigkeit von der Anzahl der Zyklen



Für Wasserstoff und Methan vergleichsweise niedrige energiemengenbezogene CAPEX



Speicherkosten für Brenn- und Treibstoffe vergleichsweise günstig



Quellen: Abdon, A., Zhang, X., Parra, D., Patel, M. K., Bauer, Ch., Worlitschek, J. "Techno-economic and environmental assessment of stationary electricity storage technologies for different time scales", Energy 139 (2017) 1173-1187, Gasverbund Mittelland AG, Carburra, Jenni Energietechnik AG, Daten Prof. Hubert Käslin ETH, eigene Recherchen zu konkreten Projekten

Energiespeichermöglichkeiten in der Schweiz

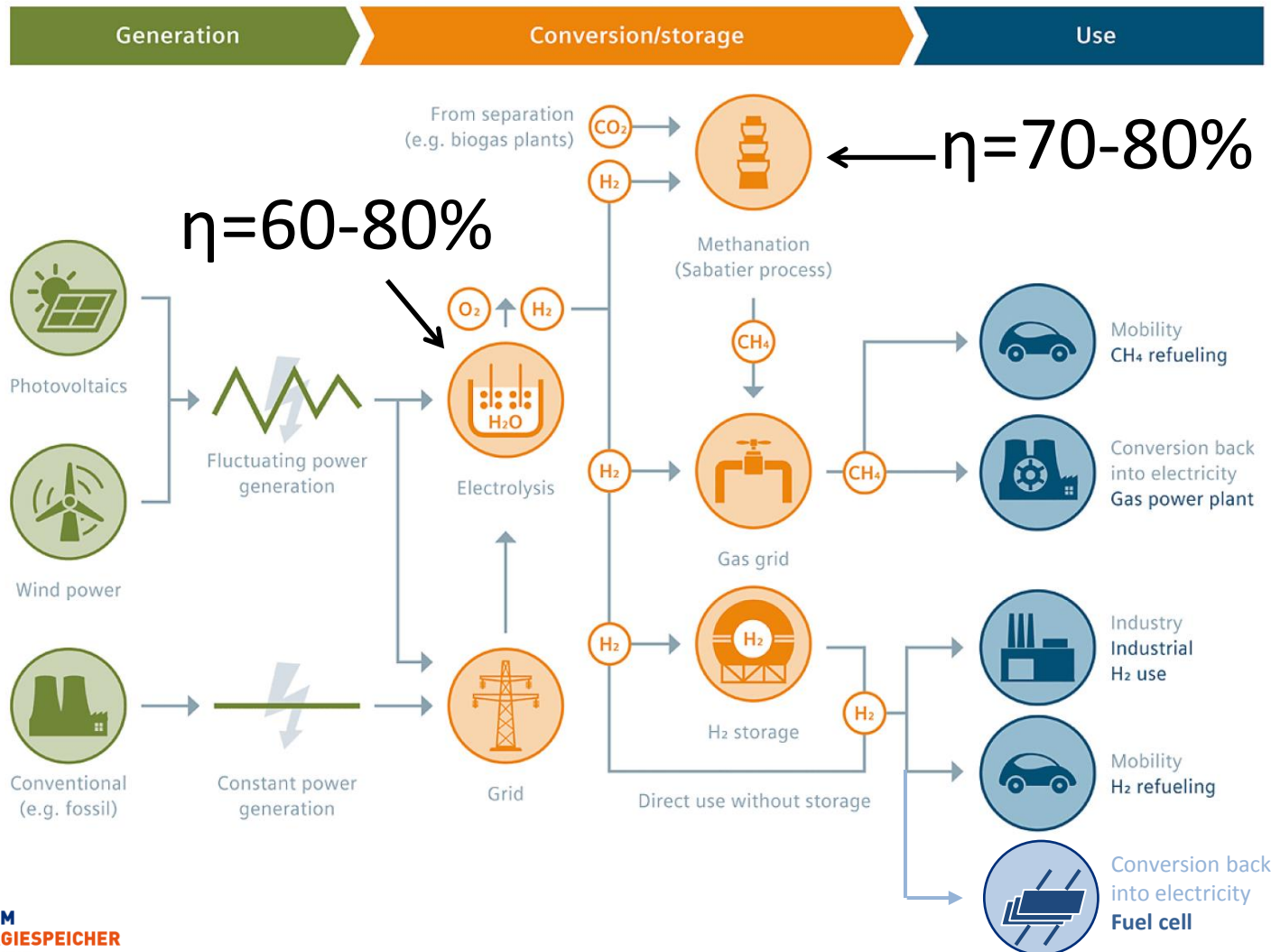
Beschreibung	Speichergrösse/-dauer
Speicherwasserkraftwerk: Wasserkraftwerk mit Stausee (im Gegensatz zu Flusswasserkraftwerken ohne Speicherfähigkeit).	8.8 TWh (heute, 55 Tage*) 10.8 TWh (bei weiterem Ausbau)
Pumpspeicherkraftwerk bestehend aus mehreren Reservoirs mit Pumpen und Turbinen dazwischen.	400 GWh (2.5 Tage*)
Erdgasnetz mit angeschlossenen Kurzzeitspeichern	80 GWh (1.1 Tage*)
Erdgaskavernen: Die Schweizer Gaswirtschaft ist an einer Kaverne in einem ehemaligen Salzbergwerk im französischen Jura beteiligt.	1'510 GWh (20.6 Tage*)
Heizöltanks in den Wohngebäuden	geschätzt > 1 Jahr
Pflichtlager für Notversorgung der Schweiz: flüssige Brenn- und Treibstoffe Autobenzin und Diesel sowie Flugpetrol	5.5 Monate Heizöl*)
	4.9 Monate Benzin*)
	4.1 Monate Diesel*)
	2.6 Monate Flugpetrol*)
Stationäre Batteriespeicher, die direkt mit dem Netz verbunden sind	
Wärmespeicher mit $T < 20 \text{ °C}$ (Anergiespeicher im Boden, Eisspeicher)	
Wärmespeicher mit $T > 20 \text{ °C}$, Brauchwarmwasser in Haushalten, Saisonale Speicher in Jenny-Häusern oder im energieautarken Haus in Brütten	
Luftdruckspeicher (Compressed Air Energy Storage, CAES), in der Schweiz gibt es ein Projekt im Tessin.	220'000 m ³ für 1GWh → kaum Potenzial als Langzeitspeicher

→ Nutzung existierender Speicher ggf. via Sektorkopplung

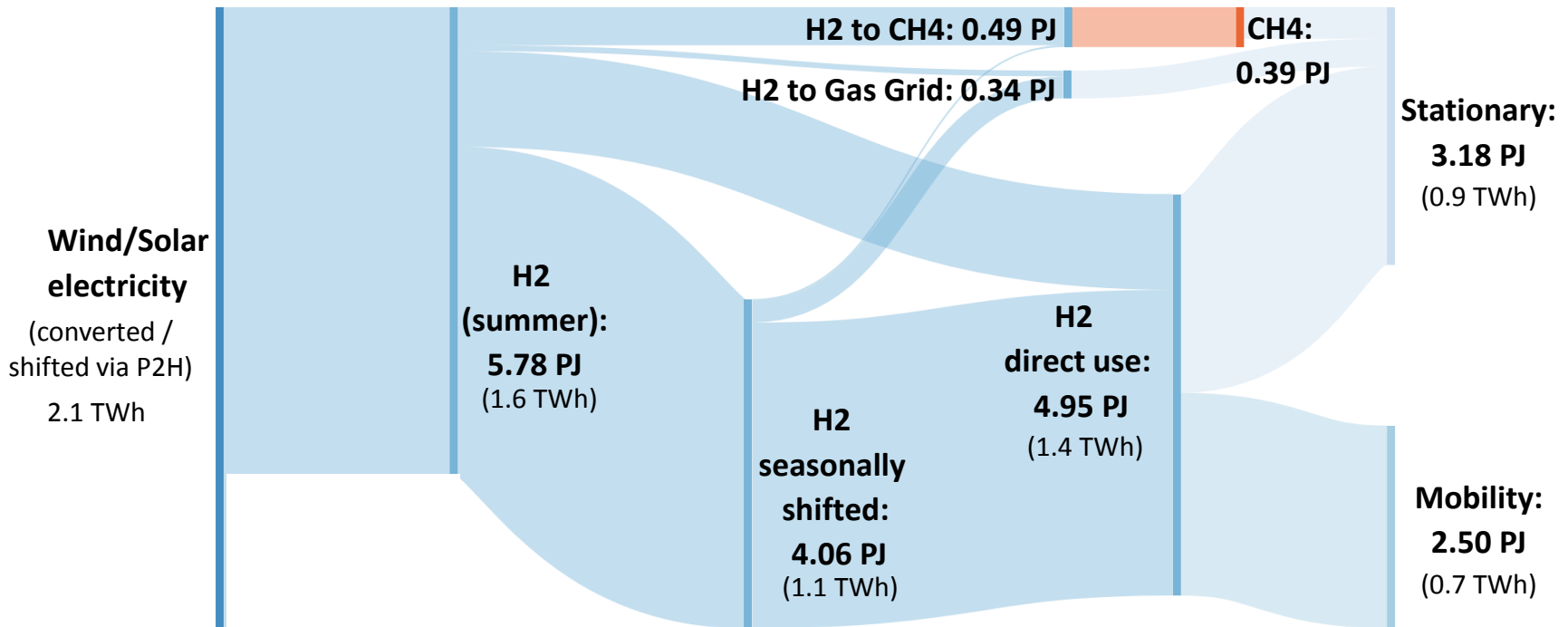
*) Speicherdauer berechnet mit durchschnittlichem Endverbrauch der Schweiz des entsprechenden Energieträgers. Quellen: Bundesamt für Energie, Carbura, IET HSR, Eurelectric (2011)

Sektorkopplung durch Power-to-Gas (Wasserstoff/ Methan) mit und ohne Speicher

→ im Fokus der SCCER Joint Activity “White Paper Power-to-X”

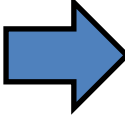


Möglicher Power-to-X Pfad unter stringentem Klimaschutzregime in 2050



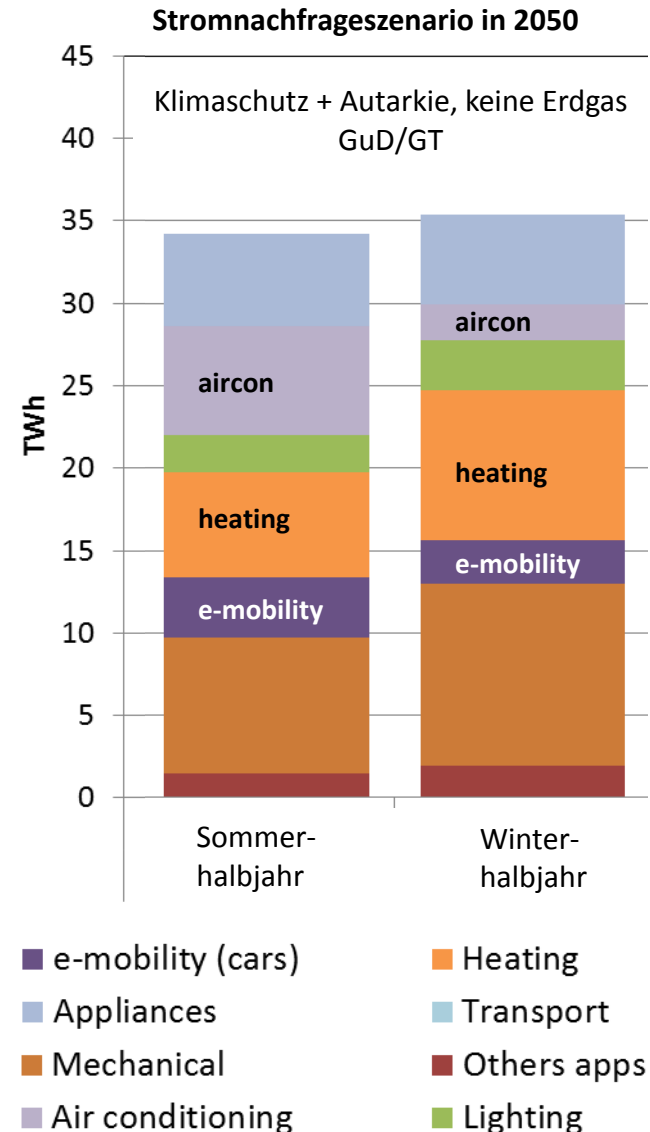
→ strombasierte saisonale Speicherung zur Dekarbonisierung der Energienachfrage

4 Flexibilitätsoptionen für den saisonalen Ausgleich im Fokus

- Anpassung der Energieerzeugung
- Import / Export (Stromhandel)
- Energiespeicher (z.B. Speicherkraftwerke, Lager für flüssige Kraft- und Brennstoffe, Gasspeicher und saisonale Wärmespeicher), Sektorkopplung
-  • Anpassung der Energienachfrage (Hybrid-Technologien)

Saisonale Stromnachfrageflexibilisierung begrenzt

- Generell kann davon ausgegangen werden, dass sich die Nachfrageprofile in Zukunft verändern (z.B. durch Energieeinsparmassnahmen, el. Klimatisierung und Raum-/Warmwasserbereitstellung, Elektromobilität)
- Saisonale Flexibilität durch Nachfrage-technologien mit mehreren Energieträgern (Strom & Brennstoffe)
 - Plug-in Hybrid-Fahrzeuge
 - Kessel + Speicher mit elektrischer Zusatzheizung
 - Hybridbox (BHKW + el. WP)
- Vor allem kurzfristige Flexibilitätsoptionen zum Load-Shifting
 - Elektrische Raumwärme- und Warmwassertechnologien

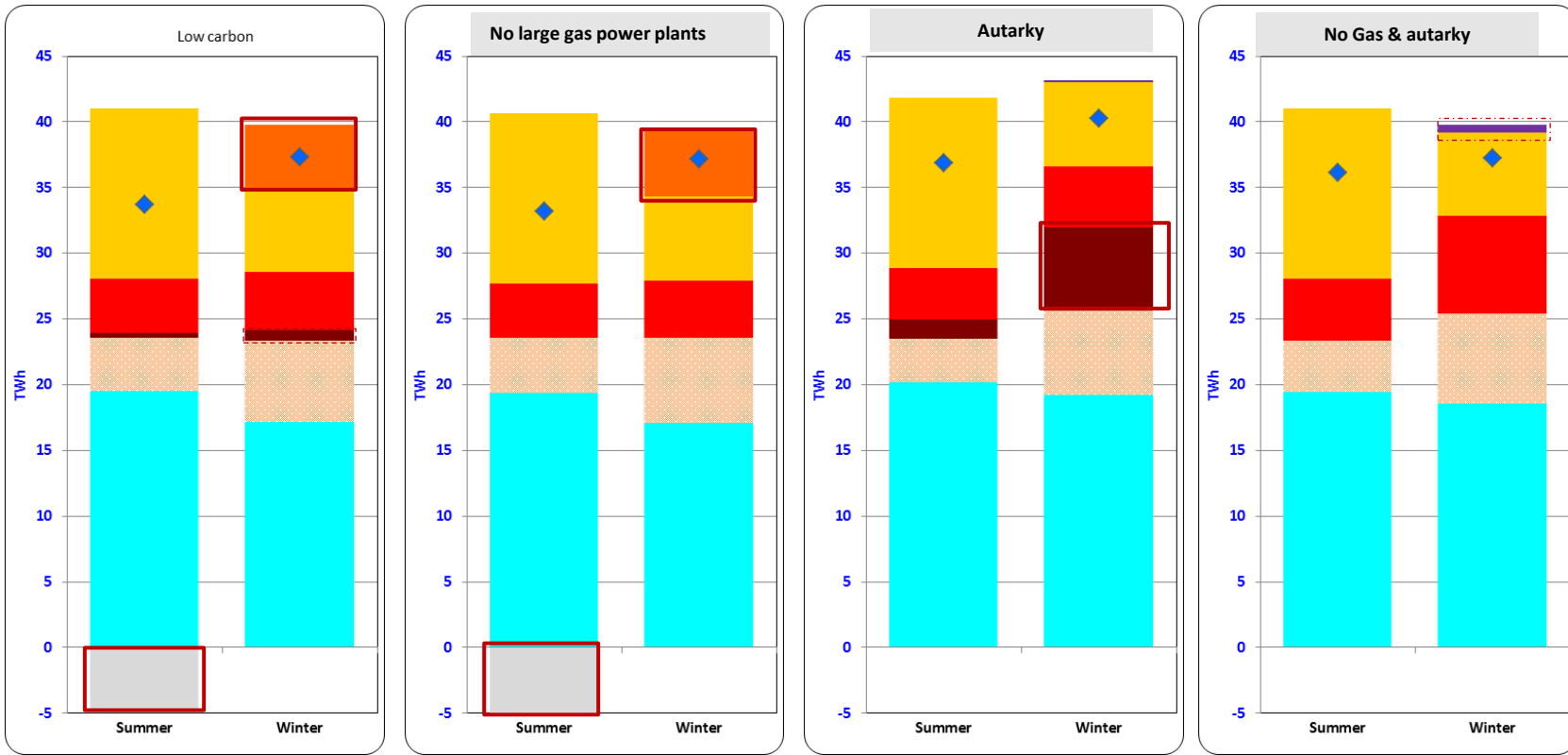


Generelle Erkenntnisse

- Langfristig kann es zu einem Anstieg der Stromnachfrage kommen (10+% bis 2050 ggü. 2015), insbesondere wenn sich die Dekarbonisierung der Nachfragesektoren auf Stromanwendungen stützt.
- Standortwahl und bedarfsorientierte Produktion aus neuen erneuerbaren Energien ist Teil der Lösung.
- Für Integration von Solar PV ist die kurzfristige Flexibilisierung von besonderer Bedeutung.
- Verschiedene Optionen stehen für die saisonale Flexibilisierung zur Verfügung.

Zusammenfassung saisonale Flexibilisierung anhand ausgewählter Klimaschutzszenarien für 2050

Boundary →



■ Hydro
 ■ Gas
 ■ CHP-Dist
 ■ Solar
 ■ Others
 ■ Storage
 ■ Net export
 ■ Net import
 ◆ Demand

Seasonal flexibility →

Interconnector & gas plant, distr. CHP

Interconnector, distr. CHP

Gas plants &, distr. CHP

distr. CHP & Storage, demand

Kosten für das Energiesystem im Jahr 2050 im Vergleich zum Klimaschutzszenario (low carbon) →

1%

+ 8%

+ 17%

Pro/Contra der 4 Optionen zur saisonalen Flexibilisierung

Gas-KW

P2X

Flexible Erzeugung

	+	-
Gas-KW	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Kapitalkosten - Produktion im Winter mit WKK 	<ul style="list-style-type: none"> - Brennstoff- und Emissionskosten - Akzeptanz für Grosskraftwerke
P2X	<ul style="list-style-type: none"> - Dekarbonisierung Energienachfrage - Bei massivem Ausbau Erneuerbarer - Saisonale Speicher 	<ul style="list-style-type: none"> - Vergleichsweise hohe Umwandlungsverluste - Kapitalintensiv

Stromhandel

	+	-
Gas-KW	<ul style="list-style-type: none"> - Grosses Flexibilitätspotenzial - Gute Infrastruktur vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> - Auslandsabhängigkeit - Unsicherheiten - Steigende Strompreise

Energiespeicher

	+	-
Gas-KW	<ul style="list-style-type: none"> - Kostengünstig für flüssige Brenn- und Treibstoffe - Speicherwasserkraft - Wasserstoff und Methan auch saisonal zu speichern 	<ul style="list-style-type: none"> - Batterien, Pump- und Druckluftspeicher eher für Kurzfristspeicherung - Marktbedingungen müssen Anreize zur Langfristspeicherung erlauben

Nachfrageflexibilität

	+	-
Gas-KW	<ul style="list-style-type: none"> - Möglichkeiten im Wärmesektor und im Verkehrsbereich 	<ul style="list-style-type: none"> - Eher kurzfristig - Verlangt Adaptation durch Konsumenten

Schlussfolgerungen / Handlungsempfehlungen

Standortwahl und Ausrichtung von Solar PV ist Teil der Gesamtlösung
→ Konzept bzw. Anreizsystem für bedarfsgerechten Ausbau

Saisonale Flexibilität im Stromsektor insb. auf der Angebotsseite
→ Erdgas GuD und dezentrale BHKW als Optionen ermöglichen

Flexibilisierung durch Stromhandel erfordert entsprechende europäische Marktintegration

Für saisonale Energiespeicherung eignen sich eher Speicher mit hohen Energie-zu-Leistungs-Verhältnissen und geringen energiebezogenen Speicherkosten (wie z.B. für gasf. & flüssige Brenn- und Treibstoffe)
→ Sektorkopplung zur Dekarbonisierung der Energienachfrage

Integrierte Untersuchungen notwendig zu den Wechselwirkungen von Speichern und anderen Flexibilitätsoptionen im Energiesystem, inkl. Einfluss von Netzaspekten und Marktdesign

Partner

aee SUISSE


 **BKW**
swissgrid



erdgas 
Die freundliche Energie.

TNO

| s | g | s | w |
Sankt Galler Stadtwerke

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

 **UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

 **SCCER CREST**

PAUL SCHERRER INSTITUT

 **PSI**

 **energieschweiz**
Unser Engagement: unsere Zukunft.

ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

 **HSR
HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
RAPPERSWIL**

Referenzen

- Bundesamt für Energie Elektrizitätsstatistik 2016
- Bundesamt für Energie, Gesamtenergiestatistik 2016
- VSG, Jahresstatistik Ausgabe 2017
- BNetzA, 2017, online unter https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungundSmartGrid/Flexibilitaet/Flexibilitaet_node.html
- SODA database, 2018, online unter <http://www.soda-is.com>
- Bauer, C., S. Hirschberg (eds.), Y. Bäuerle, S. Biollaz, A. Calbry-Muzyka, B. Cox, T. Heck, M. Lehnert, A. Meier, H.-M. Prasser, W. Schenler, K. Treyer, F. Vogel, H.C. Wieckert, X. Zhang, M. Zimmermann, V. Burg, G. Bowman, M. Erni, M. Saar, M.Q. Tran (2017) “Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies.” PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland
- Koeppel, G. (2016), Die Rolle der Wasserkraft als Energiespeicher, Symposium der ETH Zürich «Die Zukunft der Energiespeicher: Trends und offene Fragen», 14. Dezember 2016
- V. Jülch (2016), Comparison of electricity storage options using levelized cost of storage (LCOS) method, Applied Energy 183 (2016) 1594–1606
- World Energy Council (2016), World Energy Resources – E-storage: Shifting from cost to value Wind and solar applications
- Swissgrid (2015), Bericht zum Strategischen Netz 2025
- Abdon, A., Zhang, X., Parra, D., Patel, M. K., Bauer, Ch., Worlitschek, J. “Techno-economic and environmental assessment of stationary electricity storage technologies for different time scales”, Energy 139 (2017) 1173-1187
- Gasverbund Mittelland AG,
- Carbura, Geschäftsbericht 2016
- Jenni Energietechnik AG
- Panos, E., Ramachandran, K. (2018), Integration of Variable Renewable Energy in Switzerland – Implications for Storage Technologies and System Flexibility, 5th Swiss Symposium Thermal Energy Storage, 29 Jan. 2018, Lucerne

Acknowledgement

Die Autoren danken K. Ramachandran, E. Panos sowie A. Singh (alle PSI) für Ihre wertvolle Unterstützung bzgl. der modellgestützten Szenarioergebnisse und Datenaufbereitung.