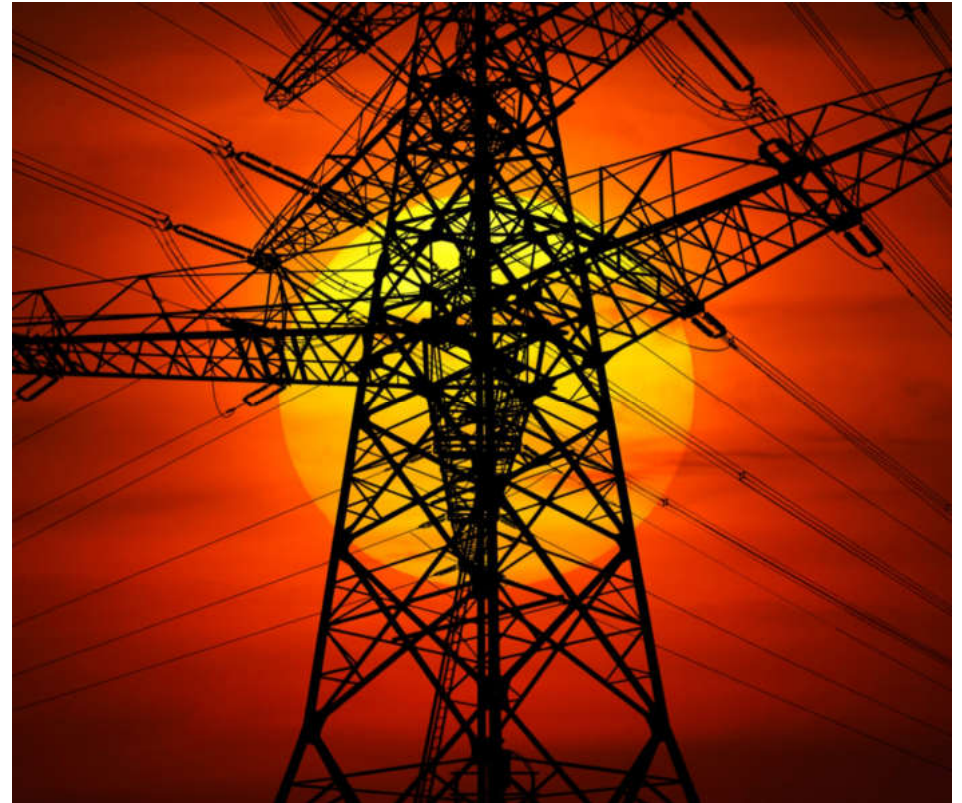


# Wie können Energiespeicher in die Elektrizitätssysteme integriert werden ?

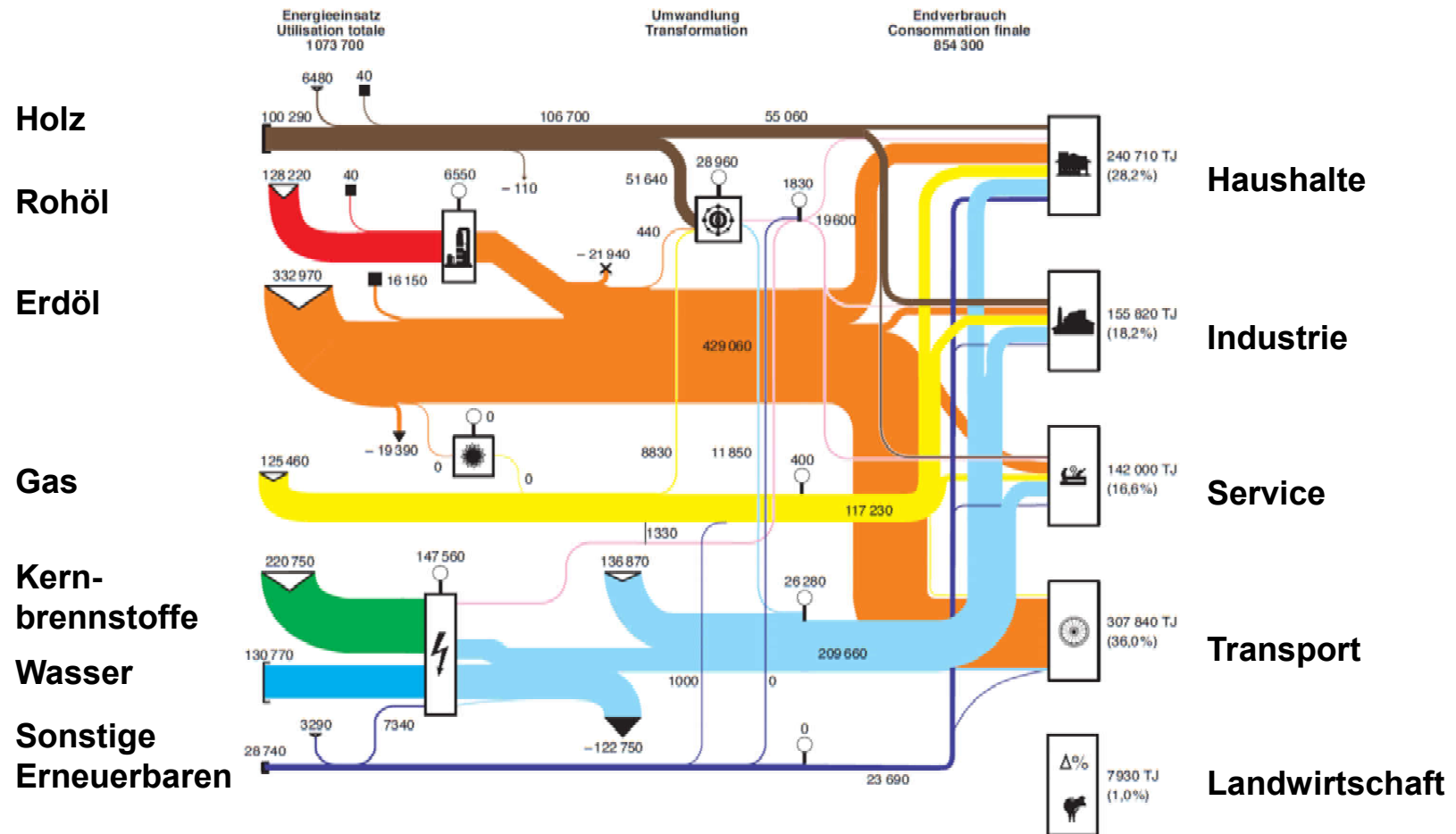
**Technik & Architektur**  
20. Oktober 2022

FH Zentralschweiz



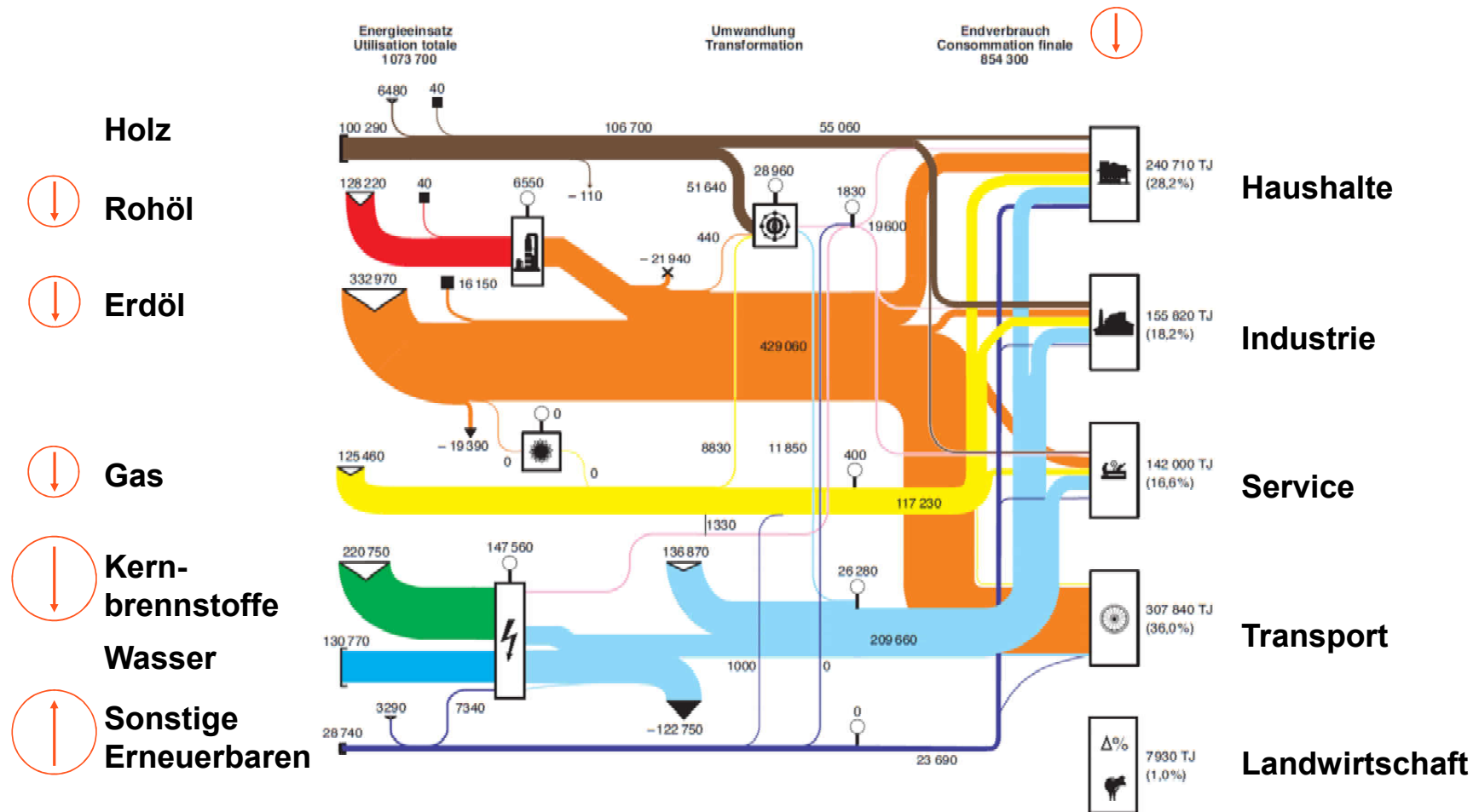


# Das Gesamtenergiesystem heute



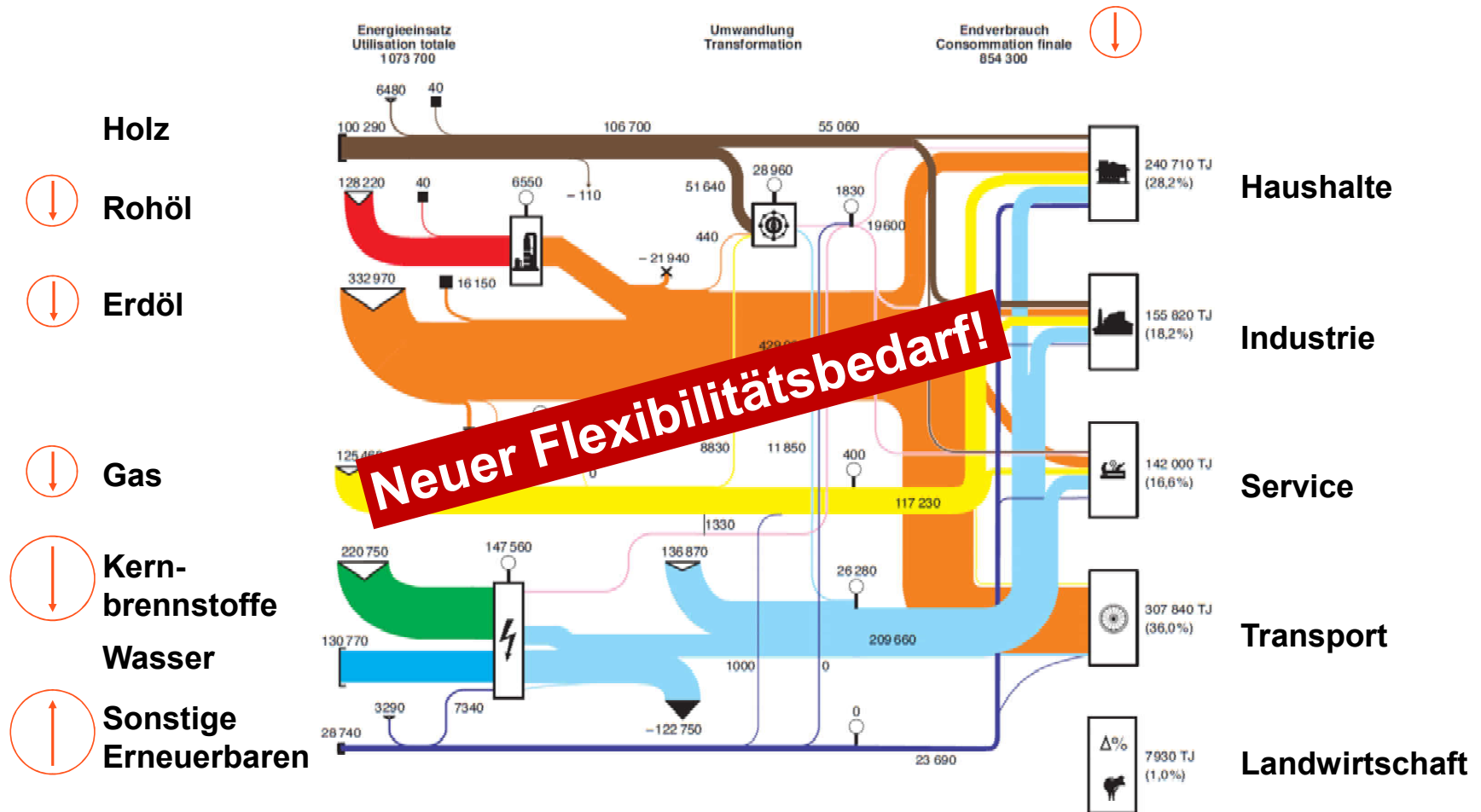
# Die Energiestrategie 2050

 Einfluss ES 2050



# Die Energiestrategie 2050

 Einfluss ES 2050



## Wie können wir die Flexibilität des Systems erhöhen?

- Neue flexible Kraftwerke (z.B. Gaskraftwerke)
- Netze
- Anpassung Verbrauch (Demand Side Management)
- Energiespeicher

Wie können wir die Flexibilität des Systems erhöhen?

Energiespeicher können das System stabilisieren, aber sie ...

**... stehen immer in Konkurrenz zu anderen Lösungen,  
... und sie müssen dabei konkrete «Services» im Netz übernehmen**

**→ Energiespeicher sind sinnvoll integriert, wenn sie ein konkretes «Problem» im Netz lösen.**

# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Frequenzregelung

**swissgrid**

Public

Overview of ancillary services

Version: 1.2 of 6 April 2020  
Author: Axel Steinhilber, Nicolas Christen, Manuel

swissgrid Ltd  
Bühlstrasse 31  
P.O. Box  
8001 Aarau  
Schweiz  
T +41 58 580 21 11  
info@swissgrid.ch  
www.swissgrid.ch

Revision	Date	Version	Author / Department	Reason
	12.04.2010	1.0	Beck / SF-GD	Finalization
	27.09.2019	1.1	Hödel / MA-MIO-AG	Entire document
	06.04.2020	1.2	Aebi / MA-MS-PD	Entire Document

All rights reserved, including the right of distribution and other property rights.  
This document may not be copied or disclosed to third parties in whole or in part under any circumstances without the express written permission of swissgrid Ltd.  
swissgrid Ltd accepts no liability for errors in this document.

## "Spinning reserve"

### Grid synchronous inertia: Vital to stabilising the grid and preventing the next blackout

By Dr Javier Cavada, Gary Preece  
July 14, 2020

Energy Grid Scale Policy Products Technology

<https://www.energy-storage.news/grid-synchronous-inertia-vital-to-stabilising-the-grid-and-preventing-the-next-blackout/>

## "Ramping"

NEWS

### 3,000MW of California energy storage will ramp to deal with solar eclipse

By Andy Colthorpe  
August 17, 2017

Americas, US & Canada Commercial, Connected Technologies, Grid Scale, Residential Business, Market Watch, Technology

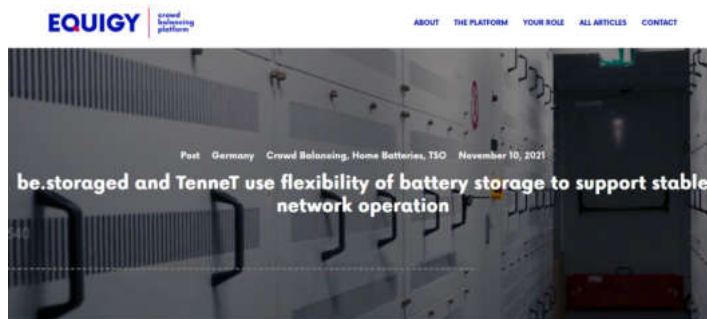
LinkedIn Twitter Reddit Facebook Email

<https://www.energy-storage.news/3000mw-of-california-energy-storage-will-ramp-to-deal-with-solar-eclipse/>



# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Engpassmanagement im Netz



<https://equigy.com/2021/11/10/be-storaged-and-tennet-use-flexibility-of-battery-storage-to-support-stable-network-operation/>

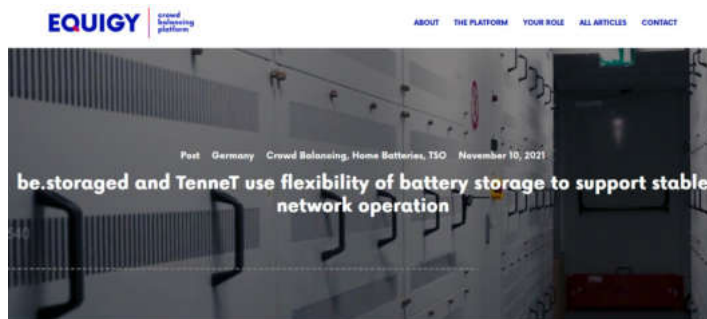
## Saisonaler Ausgleich



<https://www.energy-storage.news/green-hydrogen-the-zero-carbon-seasonal-energy-storage-solution/>

# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Engpassmanagement im Netz



<https://equigy.com/2021/11/10/be-storaged-and-tennet-use-flexibility-of-battery-storage-to-support-stable-network-operation/>

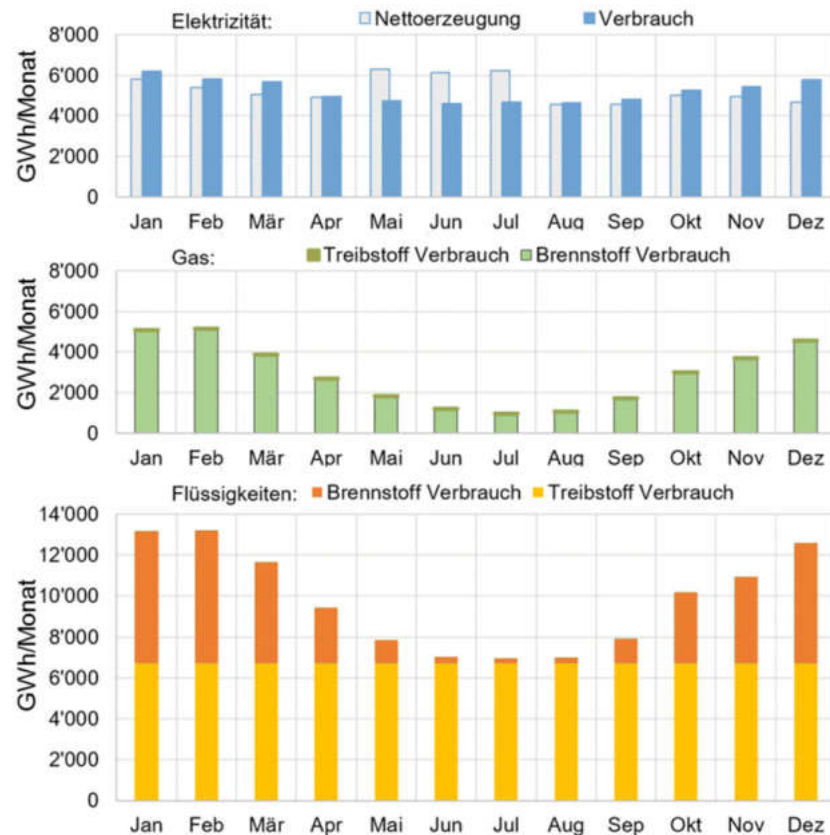
## Saisonaler Ausgleich



<https://www.energy-storage.news/green-hydrogen-the-zero-carbon-seasonal-energy-storage-solution/>

# Saisonale Herausforderung

## Ausgangslage

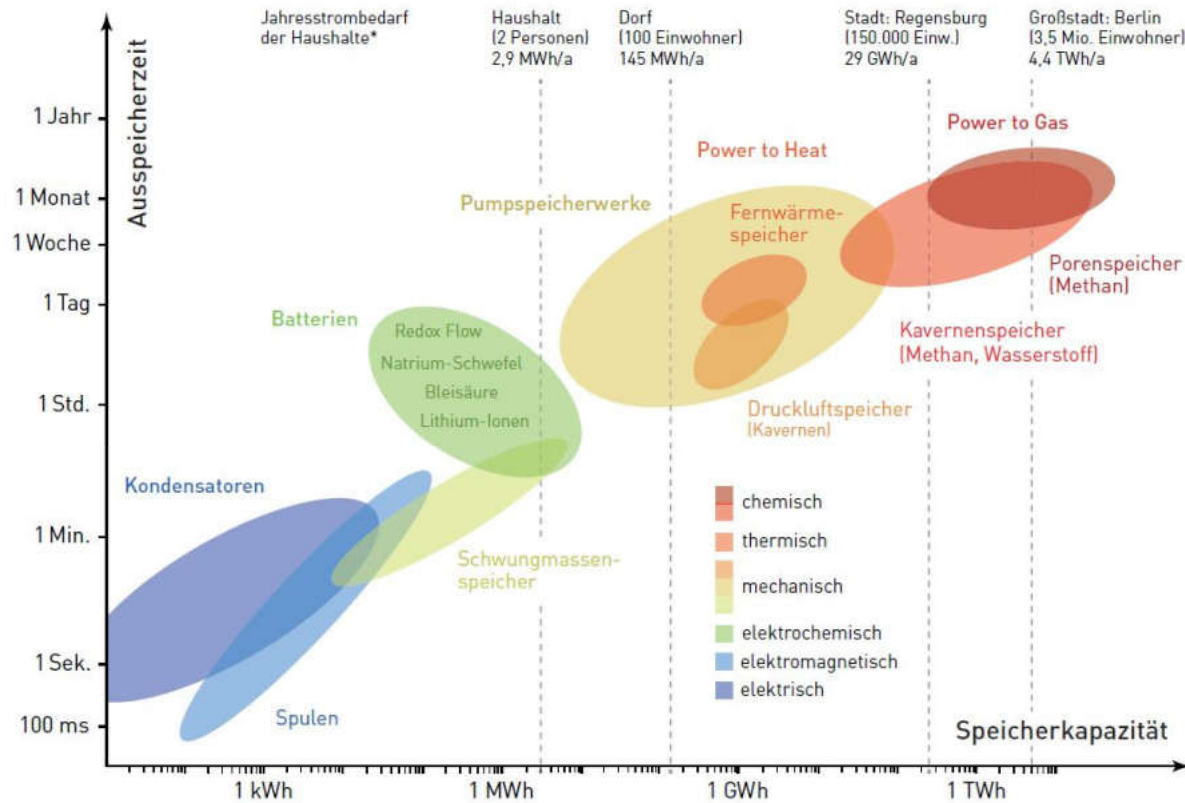


## Trend durch Energiestrategie 2050

- » Höhere Stromproduktion im Sommer aufgrund vermehrter PV-Produktion
- » Reduktion Nutzung speicherfähiger, fossiler Energieträger

**Quellen:** Bundesamt für Energie «Elektrizitätsstatistik 2016» und «Gesamtenergiestatistik 2016», VSG Jahresstatistik Ausgabe 2016 (Zusammengetragen von Prof. Dr. Markus Friedl, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, IET Institut für Energietechnik)

# Saisonale Herausforderung



• **Kondensatoren** speichern elektrische Energie kurzfristig zwischen elektrostatistisch geladenen Platten.

• Bei **Schwungmassenspeichern** ist die Energie in einer rotierenden Masse gespeichert. Ein Rotor wird auf hohe Umdrehungszahlen gebracht.

• **Batterien** machen sich die Wanderung unterschiedlich geladener Teilchen zunutze.

• **Pumpspeicherwerke** nutzen die Lageenergie von Wasser. Einspeichern über Pumpen, Ausspeichern über Turbinen.

• Ein **Druckluftkraftwerk** nutzt einen mit Druckluft gefüllten Hohlraum über den Einsatz von Kompressor (Laden) und Turbine (Entladen).

• **Kavernen- und Porenspeicher** nehmen chemische Energieträger in künstlichen oder natürlichen Hohlräumen unter der Erdoberfläche auf.

• **Power to Heat** speichert Strom in Form von Wärme.

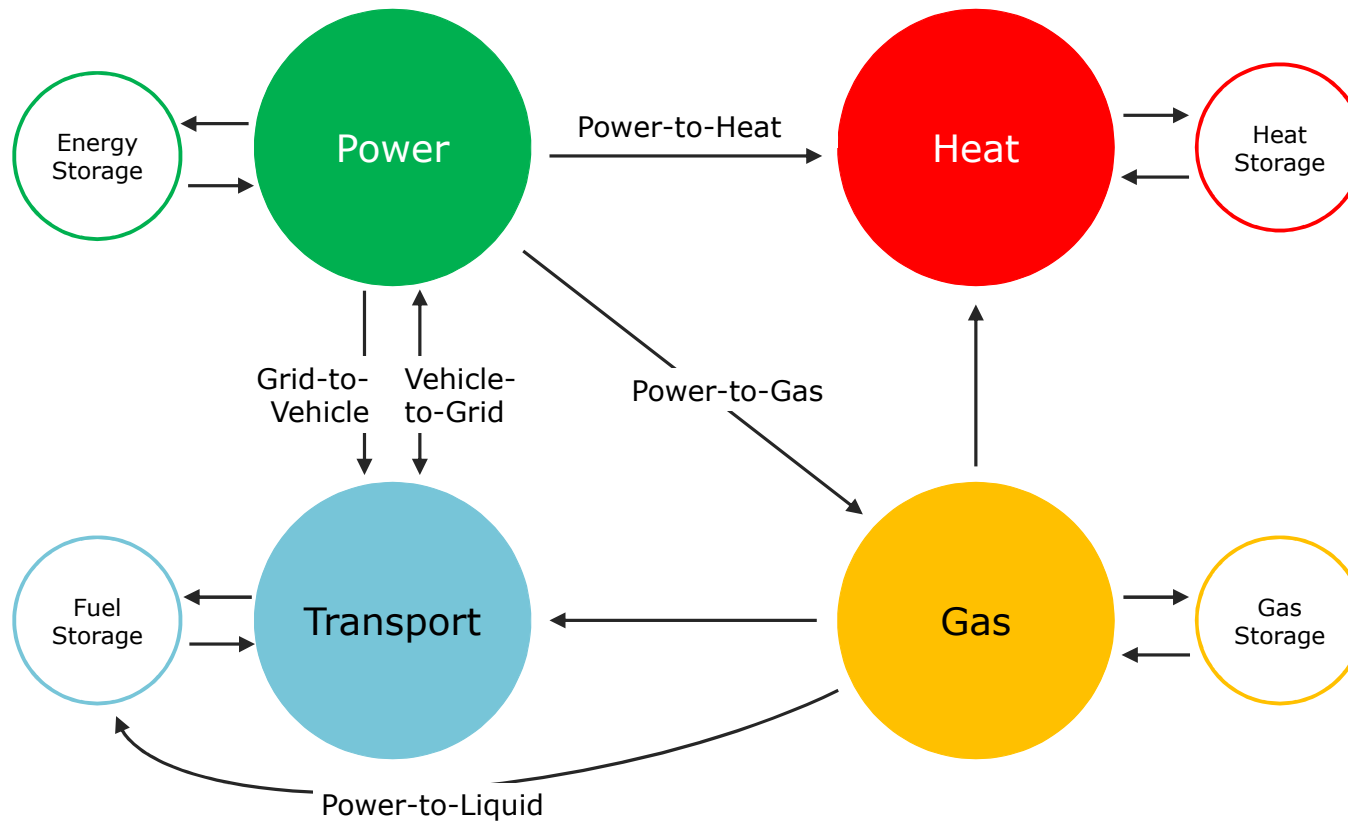
• **Power to Gas** wandelt Strom in Gas um.

Die Datenwolken geben Bereiche an, in denen sich einzelne heute bereits realisierte Anlagen in Deutschland bewegen.

\*ohne Industrie und GHD; Strombedarf pro Person: 1,45 MWh/a

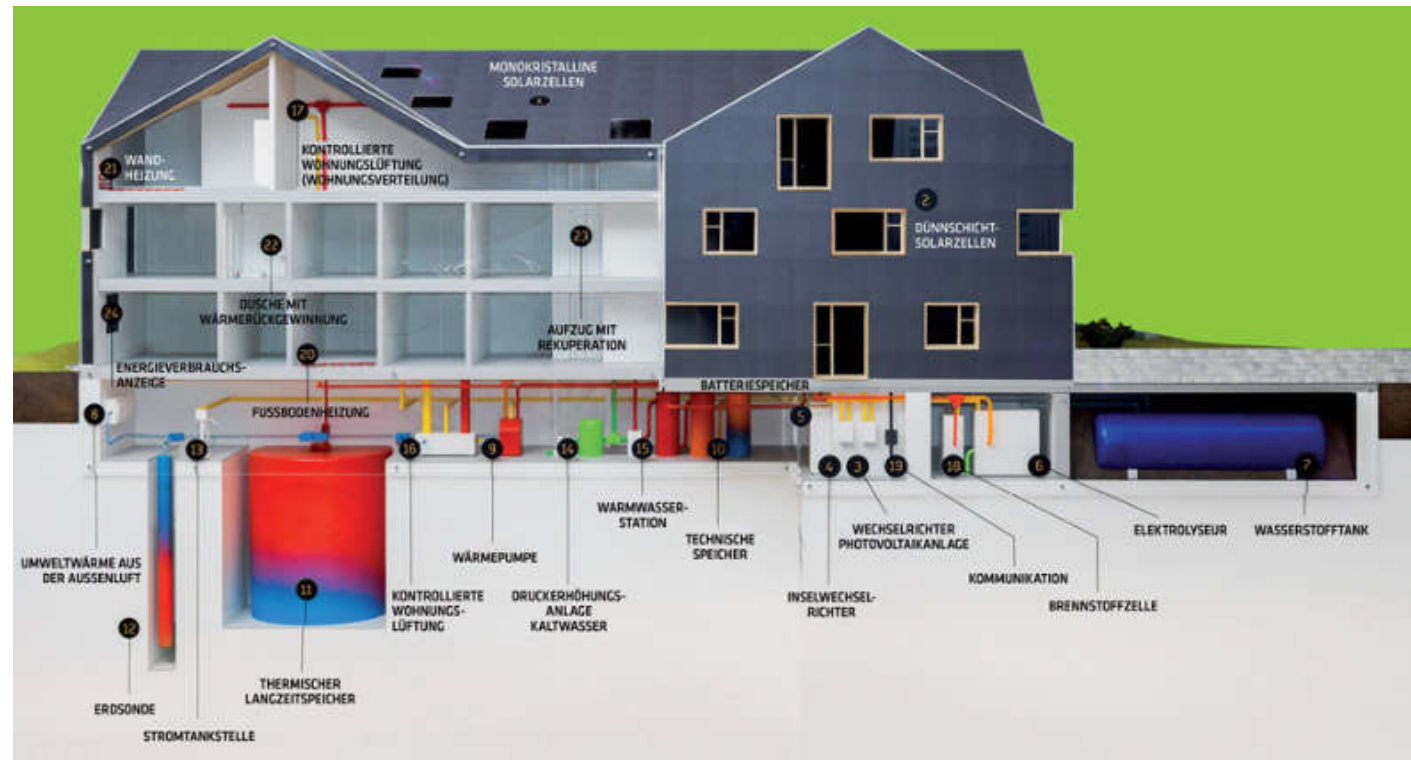
Quelle: TH Regensburg FENES, 2013

# Sektor-Kopplung



# Sektor-Kopplung

## » Sektor-Kopplung am Beispiel Energieautarkes Mehrfamilienhaus in Brütten



## Saisonale Herausforderung

- » **Sektor-Kopplung** und Nutzung von Wärme- und Gasspeicher als **vielversprechender Ansatz** für den saisonalen Ausgleich
- » **Sektor-Kopplung** in **Konkurrenz** zu **Stromimport** und/oder **Gaskraftwerken**
- » **Grösste Herausforderung:** Verluste bei Umwandlung von Energie zwischen Sektoren  
**Ziel:** Anzahl Umwandlungsschritte minim halten
- » Es braucht die richtigen **Regulierungen, Markt-Mechanismen** sowie politische Entscheidung zu **CH-Eigenversorgungsgrad**

# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Frequenzregelung

**swissgrid**

Public

Overview of ancillary services

Version: 1.2 of 8. April 2020

Author: Axel Steiner, Nicolas Christen, Markus

swissgrid Ltd  
 Distriktsstrasse 21  
 P.O. Box  
 8001, Zurich  
 Switzerland  
 T +41 58 560 21 11  
 info@swissgrid.ch  
 www.swissgrid.ch

Revision			
Date	Version	Author / Department	Section
12.04.2010	1.0	Beck / SF-GD	Finalization
27.05.2015	1.1	Hodler / MA-MO-AG	Entire document
06.04.2020	1.2	AxSI / MA-MO-PO	Entire Document

All rights reserved, including the right of duplication and other property rights.  
 This document may not be copied or otherwise be used in whole or in part under any circumstances without the express written permission of swissgrid Ltd.  
 swissgrid Ltd accepts no liability for errors in this document.

## "Spinning reserve"

### Grid synchronous inertia: Vital to stabilising the grid and preventing the next blackout

By Dr Javier Cavada, Gary Preece

July 14, 2020

Energy Grid Scale Policy Products Technology

<https://www.energy-storage.news/grid-synchronous-inertia-vital-to-stabilising-the-grid-and-preventing-the-next-blackout/>

## "Ramping"

NEWS

### 3,000MW of California energy storage will ramp to deal with solar eclipse

By Andy Colthorpe

August 17, 2017

Americas, US & Canada Commercial, Connected Technologies, Grid Scale, Residential Business, Market Watch, Technology

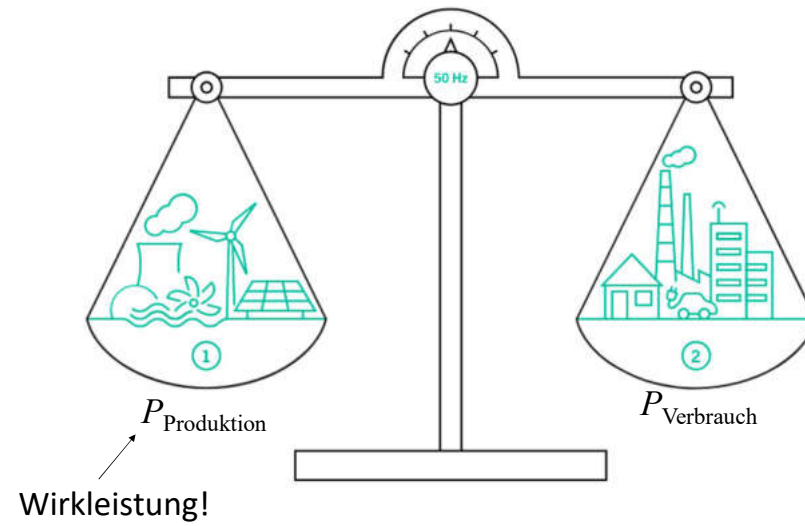
LinkedIn Twitter Reddit Facebook Email



<https://www.energy-storage.news/3000mw-of-california-energy-storage-will-ramp-to-deal-with-solar-eclipse/>

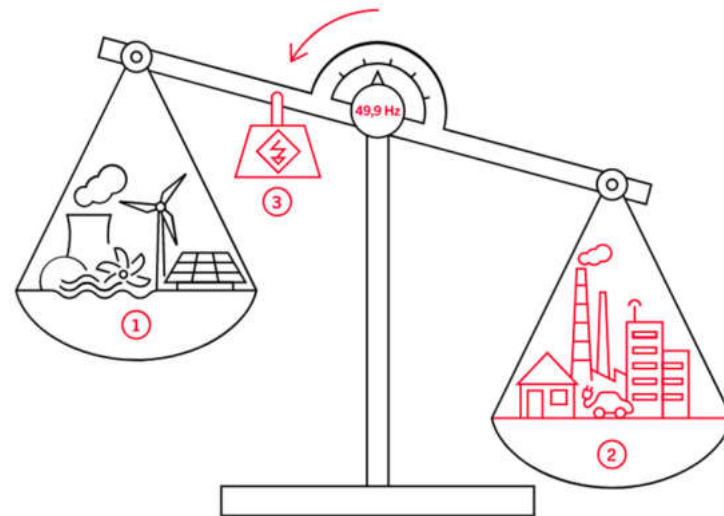


# Frequenzregelung



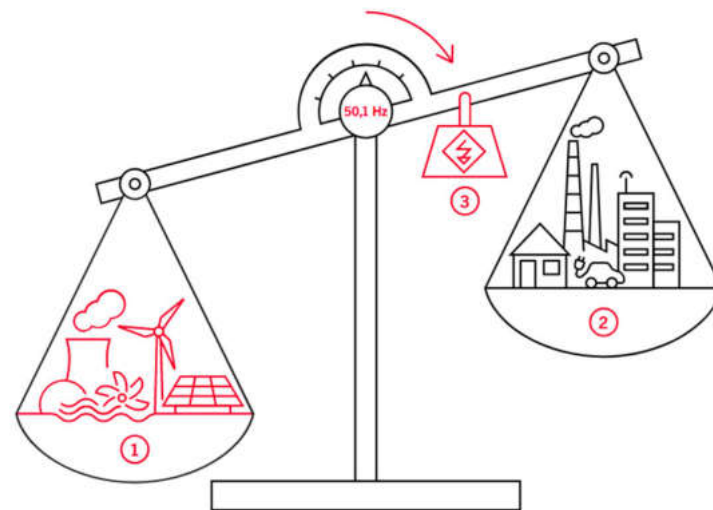
Bildquelle: [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

# Frequenzregelung



Bildquelle: [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

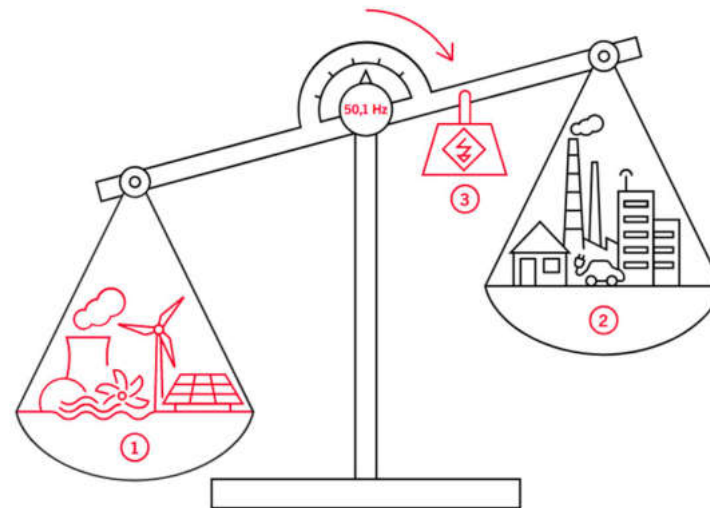
# Frequenzregelung



Bildquelle: [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

**Gründe für dieses Verhalten?**

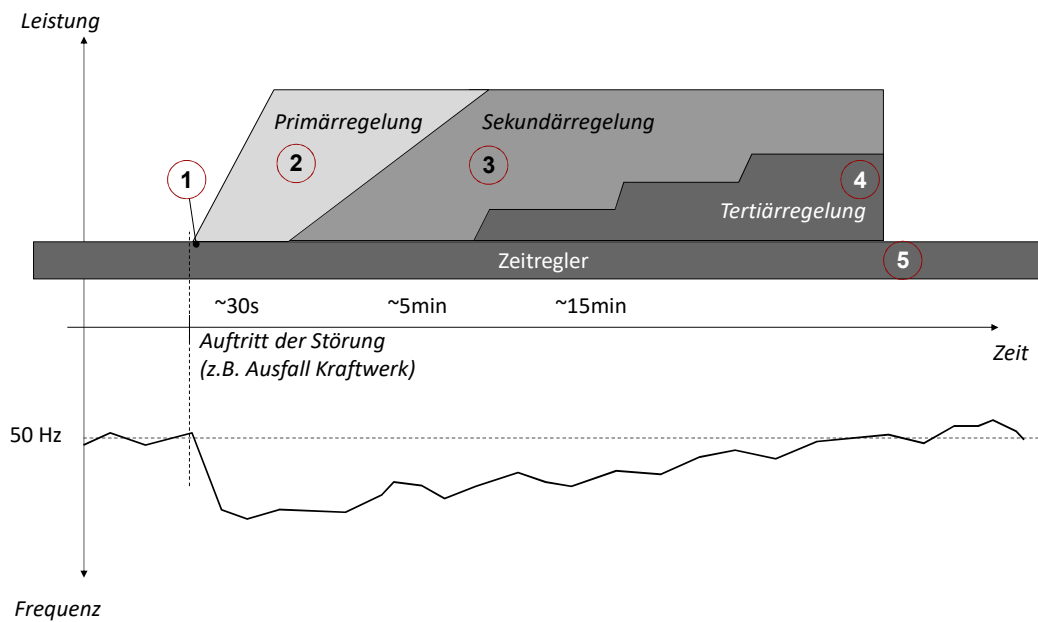
# Frequenzregelung



Bildquelle: [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

**Gründe für dieses Verhalten?**

Überschüssige Energie wird in kinetische Energie von Synchrongeneratoren umgewandelt. Dies führt zu einer schnelleren Drehzahl.



→ Fast jede Energiespeichertechnologie kann hier teilnehmen.  
 Von Batterien bis Pumpspeicherkraftwerke.

# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Frequenzregelung

**swissgrid**

Public

Overview of ancillary services

Version: 1.2 of 8. April 2020

Author: Axel Steiner, Nicolas Christen, Mark

swissgrid Ltd  
 Districkstrasse 21  
 P.O. Box  
 8001, Zurich  
 Switzerland  
 T +41 58 560 21 11  
 info@swissgrid.ch  
 www.swissgrid.ch

Revision	Date	Version	Author / Department	Section
1	12.04.2010	1.0	Beck / SF-GD	Finalization
2	27.05.2015	1.1	Hode / MA-MO-AG	Entire document
3	06.04.2020	1.2	Aebi / MA-MG-PO	Entire Document

All rights reserved, including the right of duplication and other property rights.  
 This document may not be copied or attached to third parties in whole or in part under any circumstances without the express written permission of swissgrid Ltd.  
 swissgrid Ltd accepts no liability for errors in this document.

## "Spinning reserve"

### Grid synchronous inertia: Vital to stabilising the grid and preventing the next blackout

By Dr Javier Cavada, Gary Preece  
 July 14, 2020

Europe Grid Scale Policy Products Technology

<https://www.energy-storage.news/grid-synchronous-inertia-vital-to-stabilising-the-grid-and-preventing-the-next-blackout/>

## "Ramping"

NEWS

### 3,000MW of California energy storage will ramp to deal with solar eclipse

By Andy Colthorpe  
 August 17, 2017

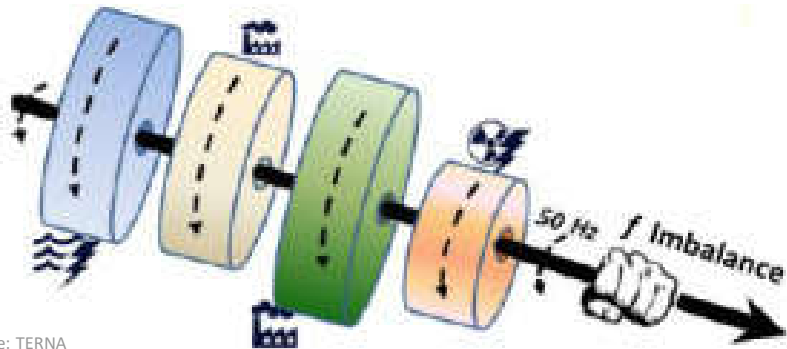
Americas, US & Canada Commercial, Connected Technologies, Grid Scale, Residential Business, Market Watch, Technology

LinkedIn Twitter Reddit Facebook Email



<https://www.energy-storage.news/3000mw-of-california-energy-storage-will-ramp-to-deal-with-solar-eclipse/>

## “Spinning reserve” – oder Netzträgheit

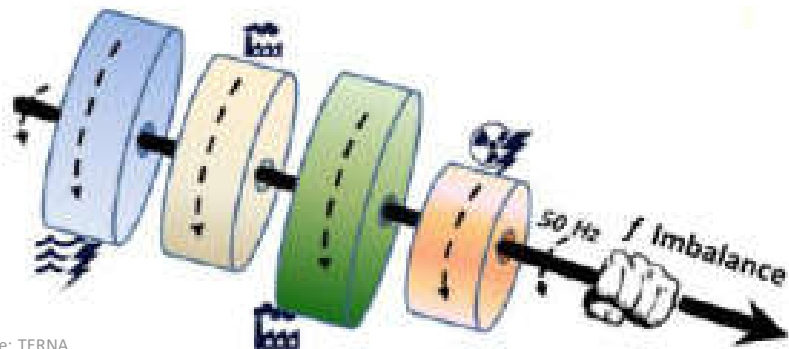


Bildquelle: TERNA

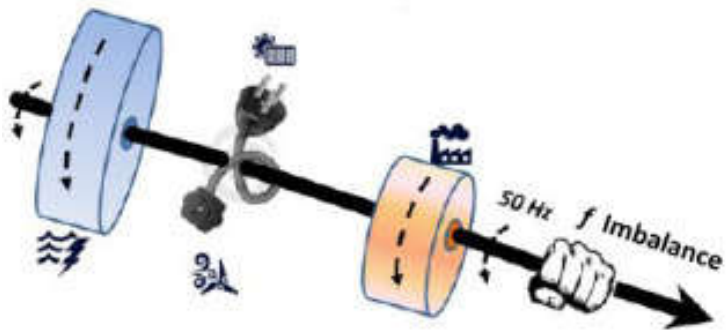
Die Systemträgheit wirkt einer Frequenzänderung entgegen.  
(Kinetische Energie gespeichert in synchron-verbundenen rotierenden Massen)

Wird als systeminhärent betrachtet

## “Spinning reserve” – oder Netzträgheit



Bildquelle: TERNA



Reduktion konventioneller Produktion reduziert Systemträgheit und gefährdet damit die Netzstabilität

→ Batteriespeicher können dank ihrer schnellen Reaktionszeit eine Lösung bieten



# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Frequenzregelung

**swissgrid**

Public

Overview of ancillary services

Version: 1.2 of 8. April 2020

Author: Axel Steiner, Nicolas Christen, Markus

swissgrid Ltd  
 Distriktsstrasse 21  
 P.O. Box  
 8001, Zurich  
 Switzerland  
 T +41 58 560 21 11  
 info@swissgrid.ch  
 www.swissgrid.ch

Revision	Date	Version	Author / Department	Section
1	12.04.2010	1.0	Beck / SF-GD	Finalization
2	27.05.2015	1.1	Hodei / MA-MO-AG	Entire document
3	06.04.2020	1.2	AxSI / MA-MG-PO	Entire Document

All rights reserved, including the right of duplication and other property rights.  
 This document may not be copied or abstracted in third parties in whole or in part under any circumstances without the express written permission of swissgrid Ltd.  
 swissgrid Ltd accepts no liability for errors in this document.

## "Spinning reserve"

### Grid synchronous inertia: Vital to stabilising the grid and preventing the next blackout

By Dr Javier Cavada, Gary Preece

July 14, 2020

Energy Grid Scale Policy Products Technology

<https://www.energy-storage.news/grid-synchronous-inertia-vital-to-stabilising-the-grid-and-preventing-the-next-blackout/>

## "Ramping"

NEWS

### 3,000MW of California energy storage will ramp to deal with solar eclipse

By Andy Colthorpe  
 August 17, 2017

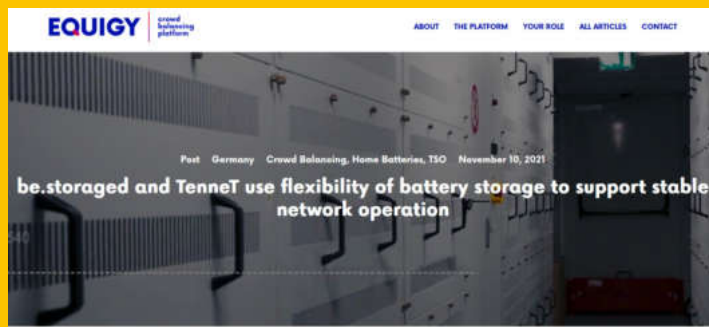
Americas, US & Canada Commercial, Connected Technologies, Grid Scale, Residential Business, Market Watch, Technology

LinkedIn Twitter Reddit Facebook Email

<https://www.energy-storage.news/3000mw-of-california-energy-storage-will-ramp-to-deal-with-solar-eclipse/>

# Was können Energiespeicher für Funktionen übernehmen?

## Engpassmanagement im Netz



<https://equigy.com/2021/11/10/be-storaged-and-tennet-use-flexibility-of-battery-storage-to-support-stable-network-operation/>

## Saisonaler Ausgleich

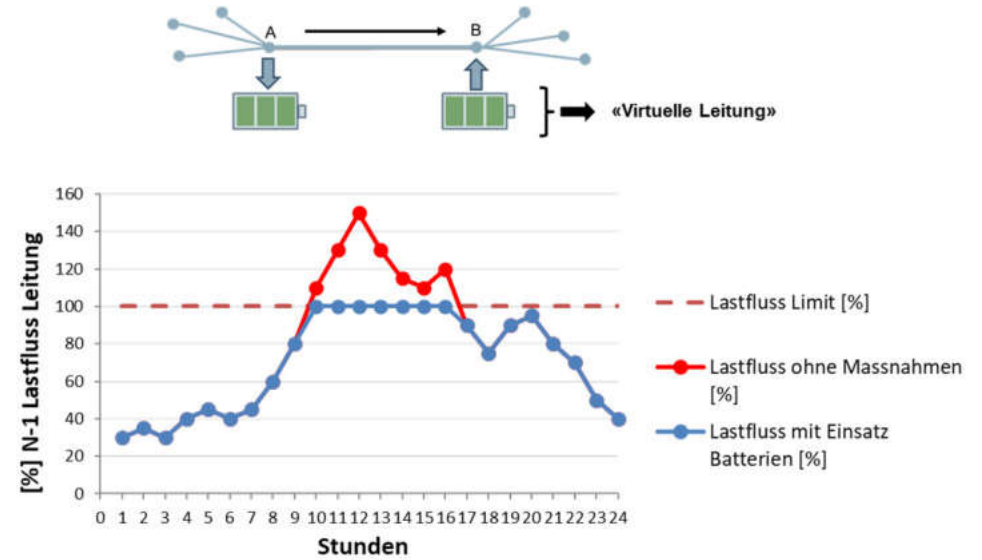


<https://www.energy-storage.news/green-hydrogen-the-zero-carbon-seasonal-energy-storage-solution/>

# Speichereinsatz bei Netzüberlastungen



Bildquelle: www.janitza.de



**Bildquelle:** Präsentation von Jonas Mühlethaler, Swissgrid, an Fachtagung Verein Smart Grid Industrie Schweiz, Dübendorf, CH, 2017

# Was bedeutet das alles?

(1) Speicher haben einen vielseitigen Einsatz:

Kundengruppe	Speicheranwendungen	Ort des Speichers im Netz		
		Übertragungs- netz (ÜN)	Verteil- netz (VN)	Behind-the- Meter
Swissgrid	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Engpassmanagement ÜN</li> <li>▪ SDL Erbringung</li> </ul>			
VNB / Elektrizitäts- unternehmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Energiearbitrage</li> <li>▪ Bilanzgruppenmanagement</li> <li>▪ Alternative Netzausbau / Engpassmanagement VN</li> </ul>			
Endkunden	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Microgrids</li> <li>▪ Eigenverbrauch</li> <li>▪ Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV)</li> </ul>			

# Was bedeutet das alles?

(2) Komplexität gerade bei Mehrfachnutzung von Speichern ist enorm:

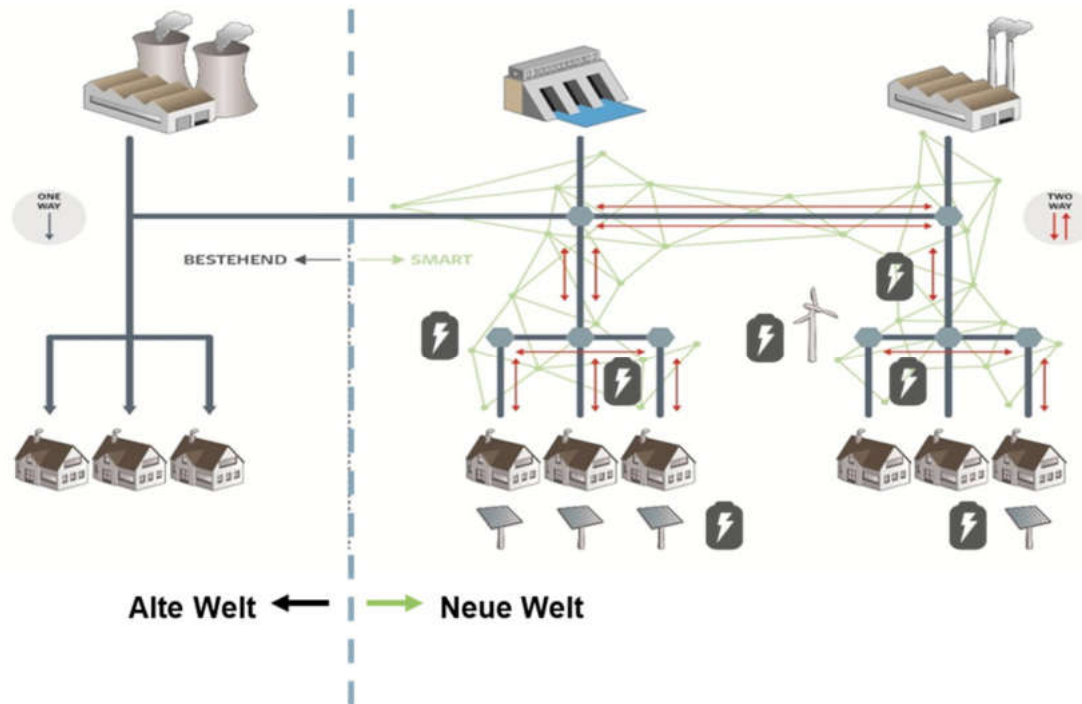
Possible applications of different storage technologies		Generation balance		System services															
		Spot markets (stock market and off-market OTC trade)	Futures markets (stock market and off-market OTC trade)	Operational management			Frequency stability by active power control					Voltage stability and -quality		Security of supply and rebuilding					
				Network-congestion management (redispatch, partly used for voltage stability)	Ramping (high rates of power change)	transient	Control- and reserve power					Supply of short-circuit power (dynamic voltage stability, Fault-Ride-Through)	Supply of reactive power (static voltage stability)	Ability to do a black start	Uninterruptible power supply	Contribution to securing the supply of power (especially reduction & protection of peak load enter alla reduction of must-run capacities)			
							Spinning reserve (immediate frequency stabilization)	Primary control power (pos. and neg. coupled)	Pos.*	Neg.	Secondary control power						Tertiary control power (minute range)	Long-term reserve (Wind or permanent reserve)	
Electrical energy storage	Double-layer capacitor (DLC)																		
	Coils (SMES)																		
Electrochemical energy storage	Lead-acid batteries																		
	Nickel batteries																		
	Lithium batteries																		
	Sodium batteries																		
	Redox-flow batteries																		
Chemical energy storage	Power-to-gas-power - charging technology electrolysis																		
	Power-to-gas-power - discharging technology gas plant																		
	Power-to-gas-heat - power-to-gas-to-heat																		
	Power-to-gas, power-to-liquid - electricity fuels																		
	Power-to-chemicals - chemical basic materials																		
Mechanical energy storage	Pumped hydro-power plants																		
	Compressed-air storage																		
	Flywheel-energy storage																		
	Potential energy storage																		
Thermal energy storage and DSM	Electric heat pump																		
	DSM (Demand response integration) general																		
	Power-to-heat - E-heater, WW, local -, district-, process heat																		

■ Very well-suited 
 ■ Well-suited 
 ■ Basically suited / research needs 
 ■ Not suited or application not possible

\* the shutdown of loads could provide positive control power by the „release of power“ (on the balance sheet)

# Was bedeutet das alles?

(2) Komplexität gerade bei Mehrfachnutzung von Speichern ist enorm:

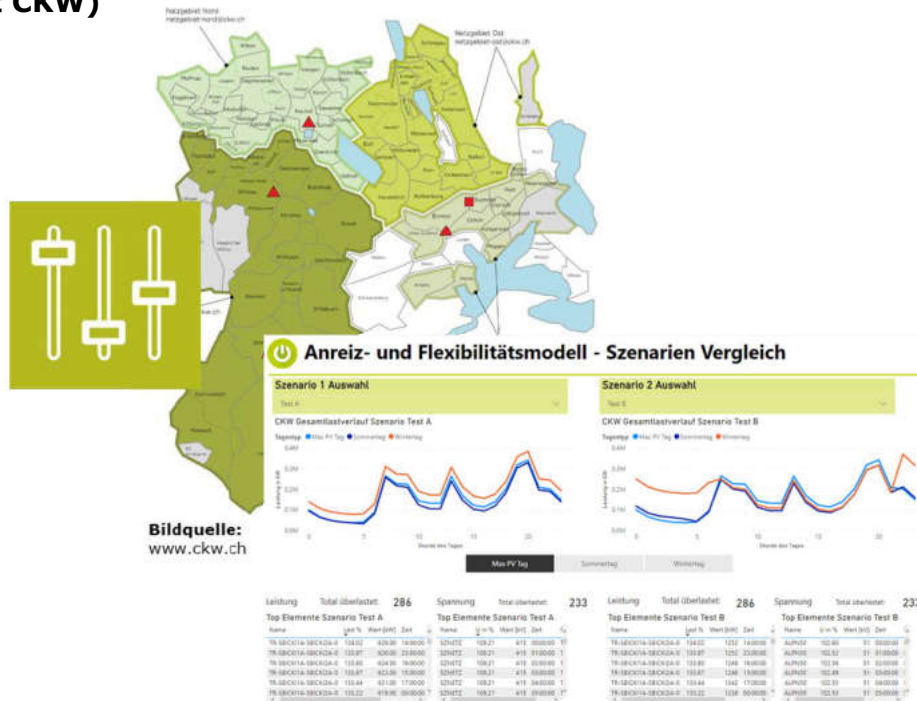


## Stellschrauben

- » Gesamtheitliche, Sektorübergreifende Regulierung
- » Koordinierter Zugriff auf dezentrale Flexibilität
- » Mehrfachnutzung von Energiespeichern

# Einblick in die Forschung an der Hochschule Luzern

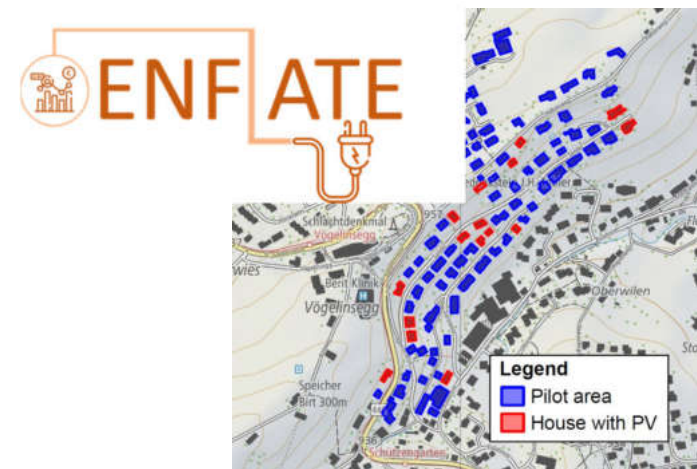
## Anreiz- und Flexibilitätsmodell für die Energiewende (mit CKW)



## Projekt "Visualisierung der Energiewende"



## Lokale Flexibilitätsmärkte im Projekt «ENFLATE»



# Einblick in die Forschung an der Hochschule Luzern



## Batterien. Schlüssel für die Energiewende

Kompendium zu Forschung,  
Entwicklung, Potenzial  
und Systemintegration  
von Batteriespeichern



## Batterien als "Game Changer"?



Vielen Dank!

**Hochschule Luzern**  
**Technik & Architektur**  
Institut für Elektrotechnik IET  
CC Digital Energy & Electric Power  
**Dr. Jonas Mühlethaler**  
Dozent

T direkt +41 41 349 30 14  
jonas.muehlethaler@hslu.ch