

Saisonale Wärmespeicher – attraktiv, jedoch vernachlässigt

Energieapero Graubünden
31. Mai 2023, Chur

Prof. Dr. Luca Baldini, ZHAW, Centre for Building Technologies and Processes

Dekarbonisierung - Grosser Bedarf für Energiespeicher

$$\text{Fossil} = \boxed{\text{Energiequelle}} + \boxed{\text{Speicher}}$$



Source: cngsolarengineering.com



Source: electrosuisse.ch

Welche Speicher braucht das Energiesystem?

- Grosser Wärmebedarf im Energiesystem (~ 50%) mit starker **saisonalen Komponente** (Gebäude)
- Elektifizierung der Wärmeerzeugung bedeutet **erhöhter Winterstrombedarf**
- Solar/PV als Hauptkomponente im zukünftigen Strommix produziert **mehr im Sommer als Winter**

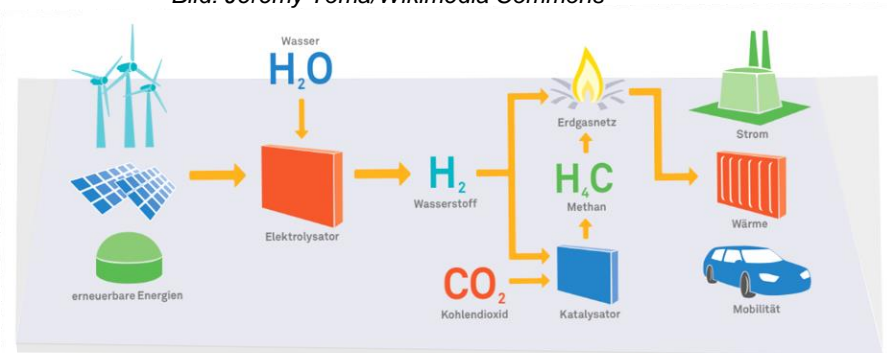
Grösste Herausforderung ist die **saisonale Speicherung**

Welche Speicherverfahren?

- **Speicherkraftwerke** –
grosse Kapazitäten vorhanden,
weitgehend gebaut / ausgebaut
- **PtG** – wenn Überschüsse
vorhanden sind, die nicht
andersweitig gebraucht werden

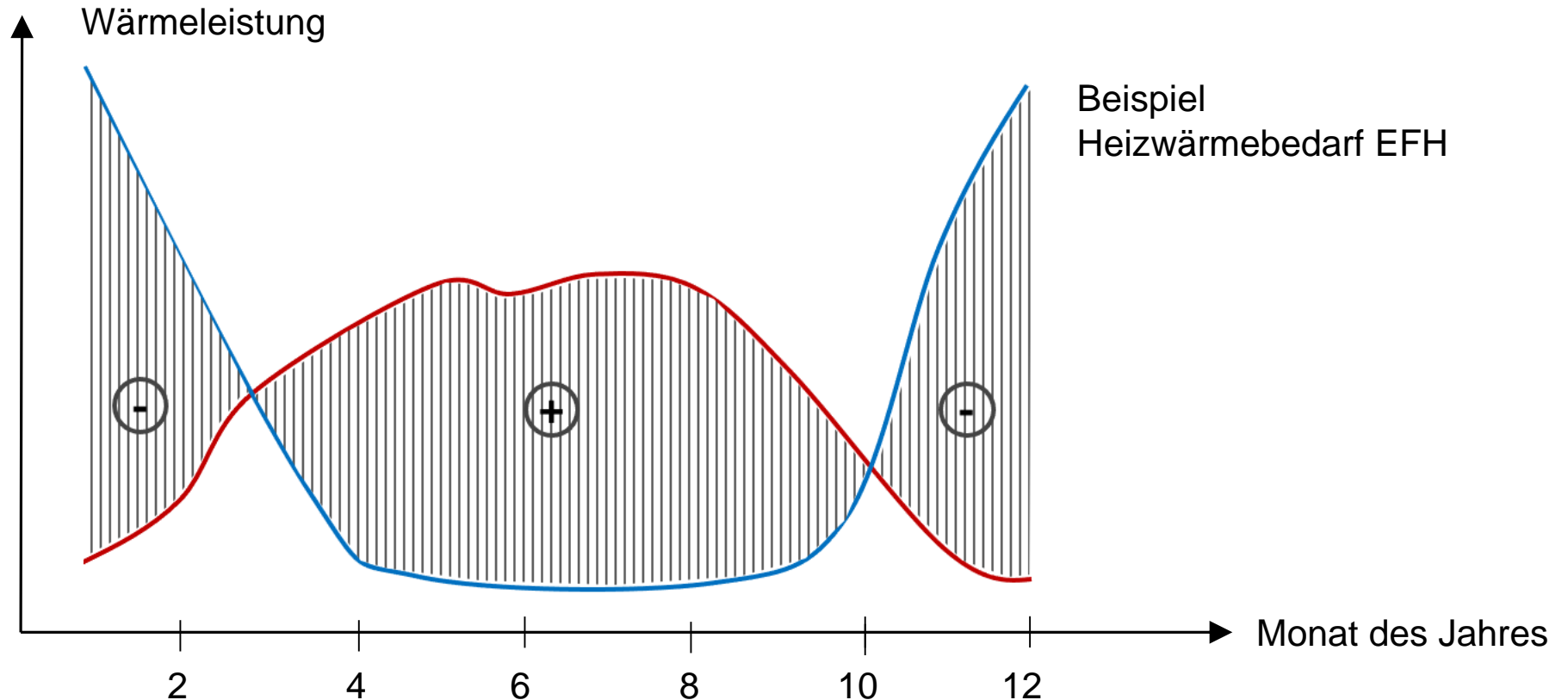


Bild: Jérémy Toma/Wikimedia Commons

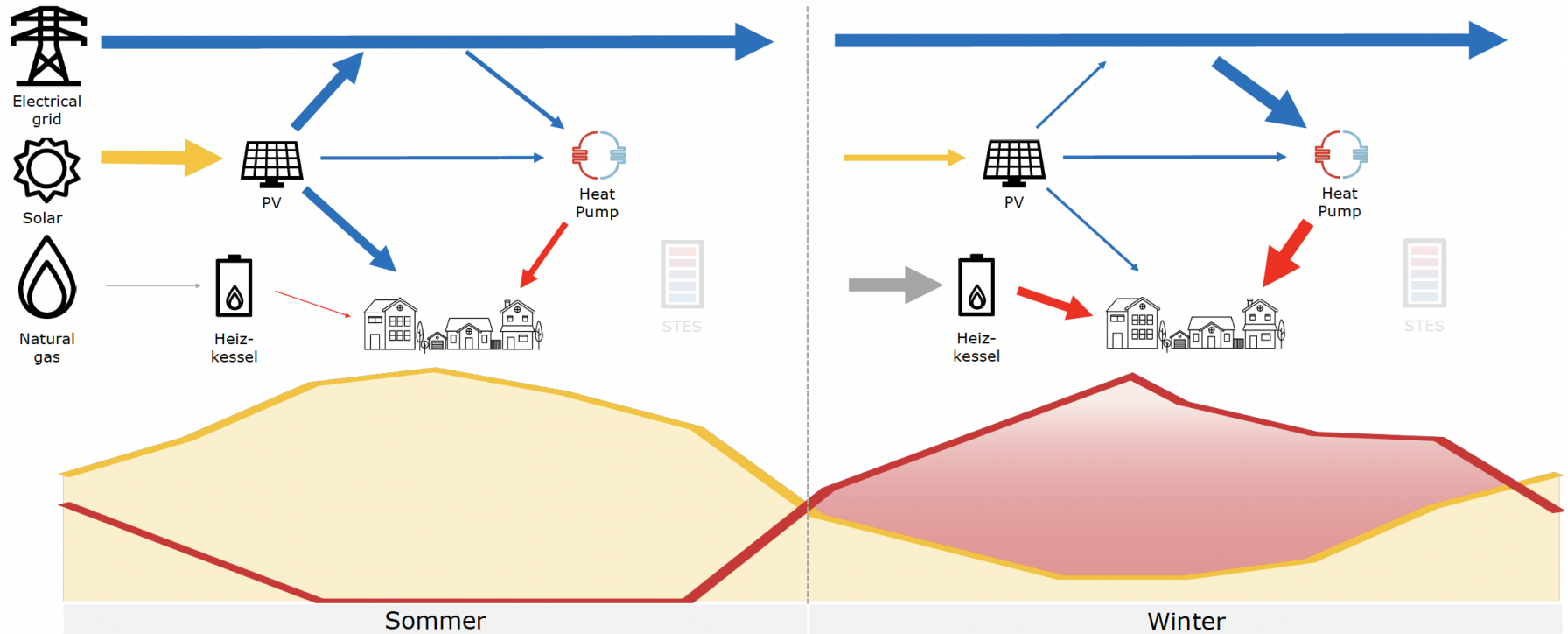


Quelle: www.energie-tipp.de

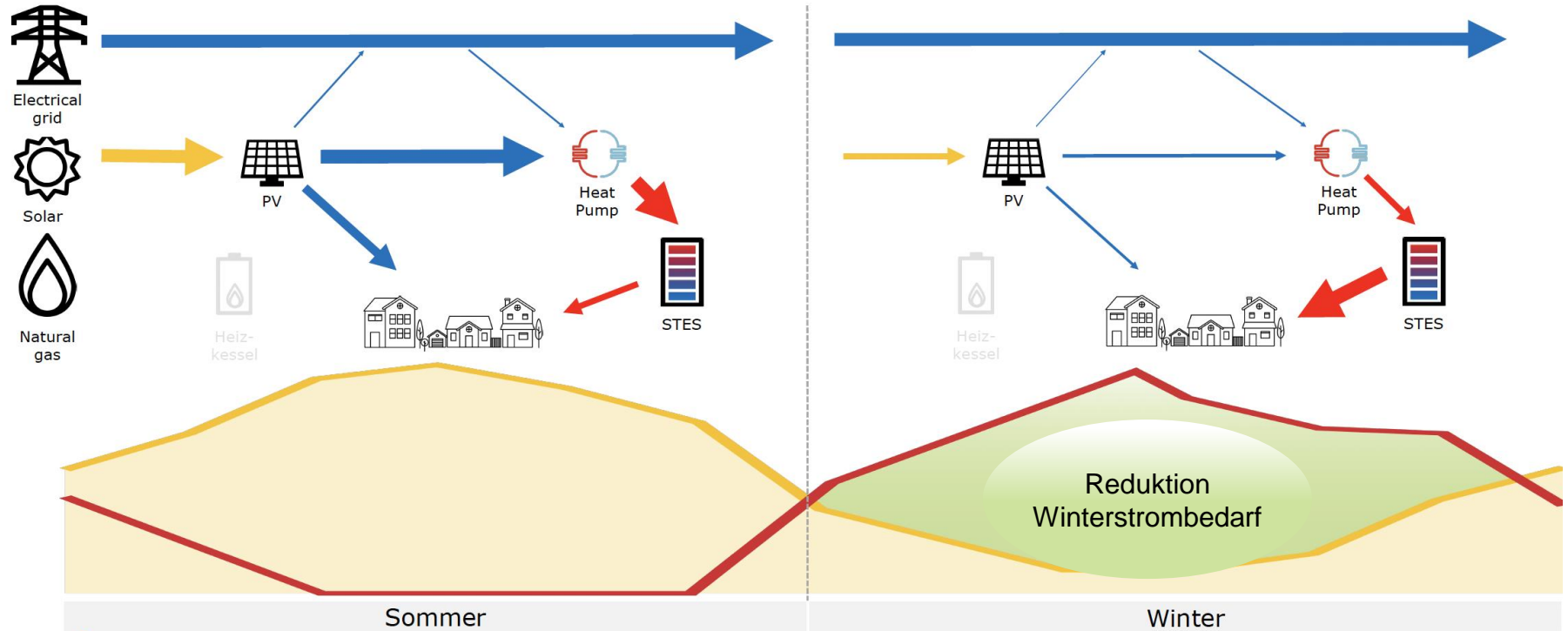
Alternative Speicher? – Saisonale Wärmespeicher



Energiesystem ohne saisonale Wärmespeicher (STES)



Energiesystem mit saisonalen Wärmespeichern (STES)

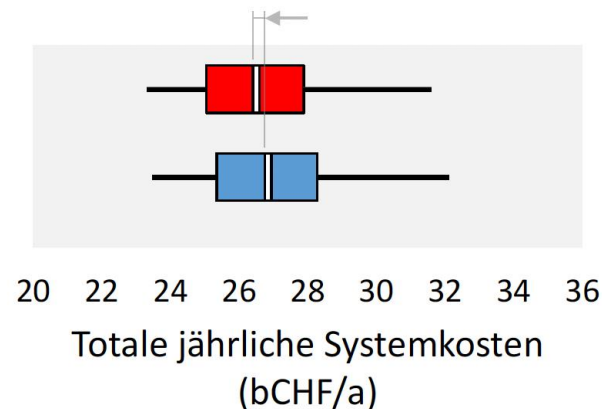
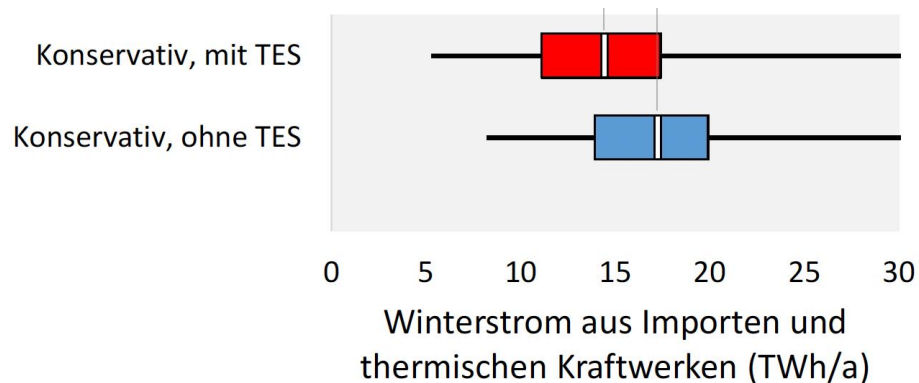


Der Wert von Saisonalen Wärmespeichern

Zieljahr 2050, Netto-Null Szenario bei $-6 \text{ Mt}_{\text{CO}_2/\text{a}}$

Reduktion des Winterstrombedarfs um bis zu **3 TWh**

Jährliche Einsparungen von 300 - 400 Mio CHF



Quelle: ETH Zürich, Dr. Gianfranco Guidati, Energy Science Center

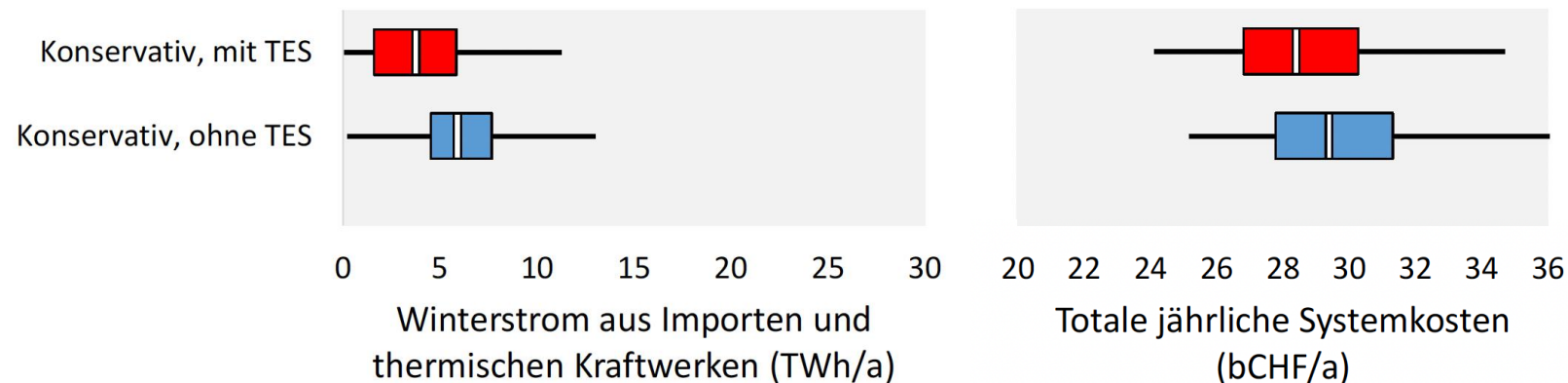
Der Wert von Saisonalen Wärmespeichern

Erhöhung des Gaspreises von 30-60 CHF/MWh auf 100-200 CHF/MWh

Zieljahr 2050, Netto-Null Szenario bei $-6 \text{ Mt}_{\text{CO}_2/\text{a}}$

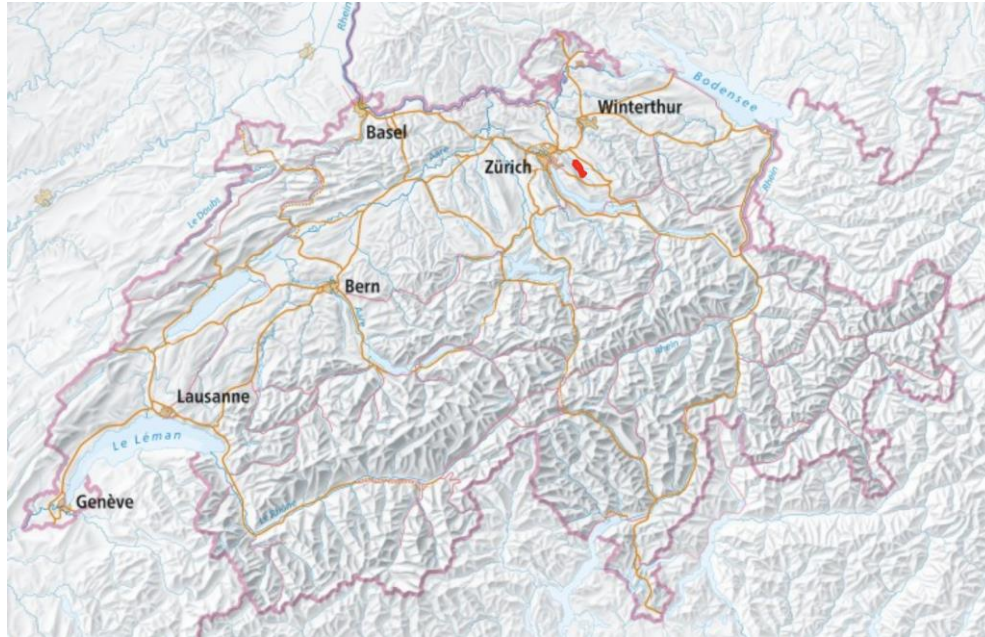
Reduktion des Winterstrombedarfs um bis zu **3 TWh**

Jährliche Einsparungen von **~ 1 Milliarde CHF**



Quelle: ETH Zürich, Dr. Gianfranco Guidati, Energy Science Center

Speicherkapazität / Flächenbedarf

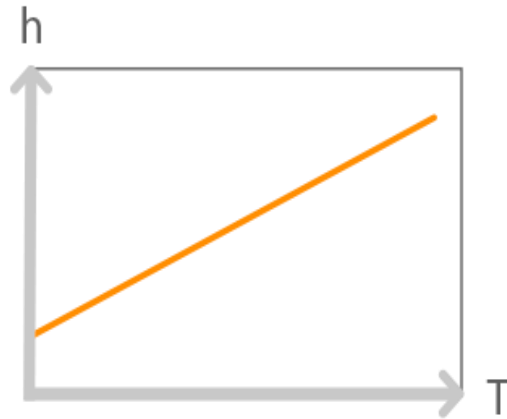


Quelle: map.geo.admin.ch

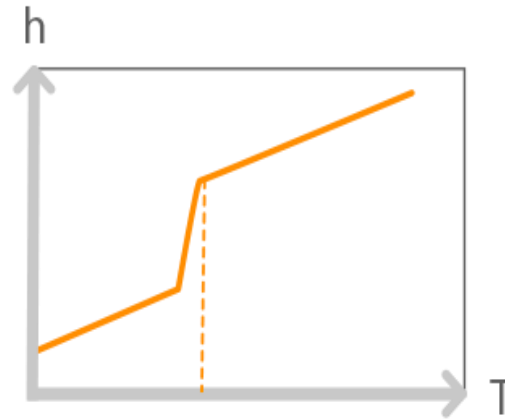
- Speichervolumina in der Grössenordnung von 5-10 TWh_{th} können den Bedarf an Winterstrom um bis zu 3 TWh_{el}/a reduzieren
- Mit Erdbeckenspeichern würde das eine Fläche von 5-10 km² benötigen (Die Schweizer Speicherseen bedecken eine Fläche von 100 km² bei 8 TWh_{el})
- Greifensee ZH (8.45 km²)

Klassen thermischer Energiespeicher

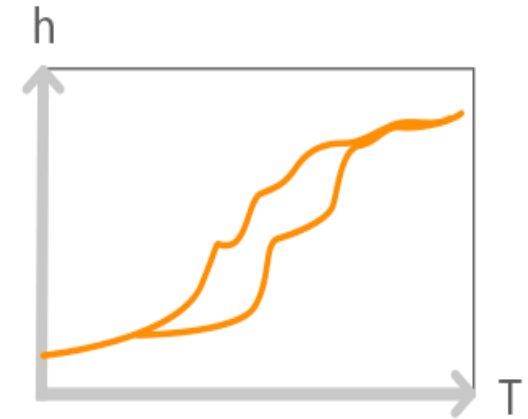
sensibel



latent

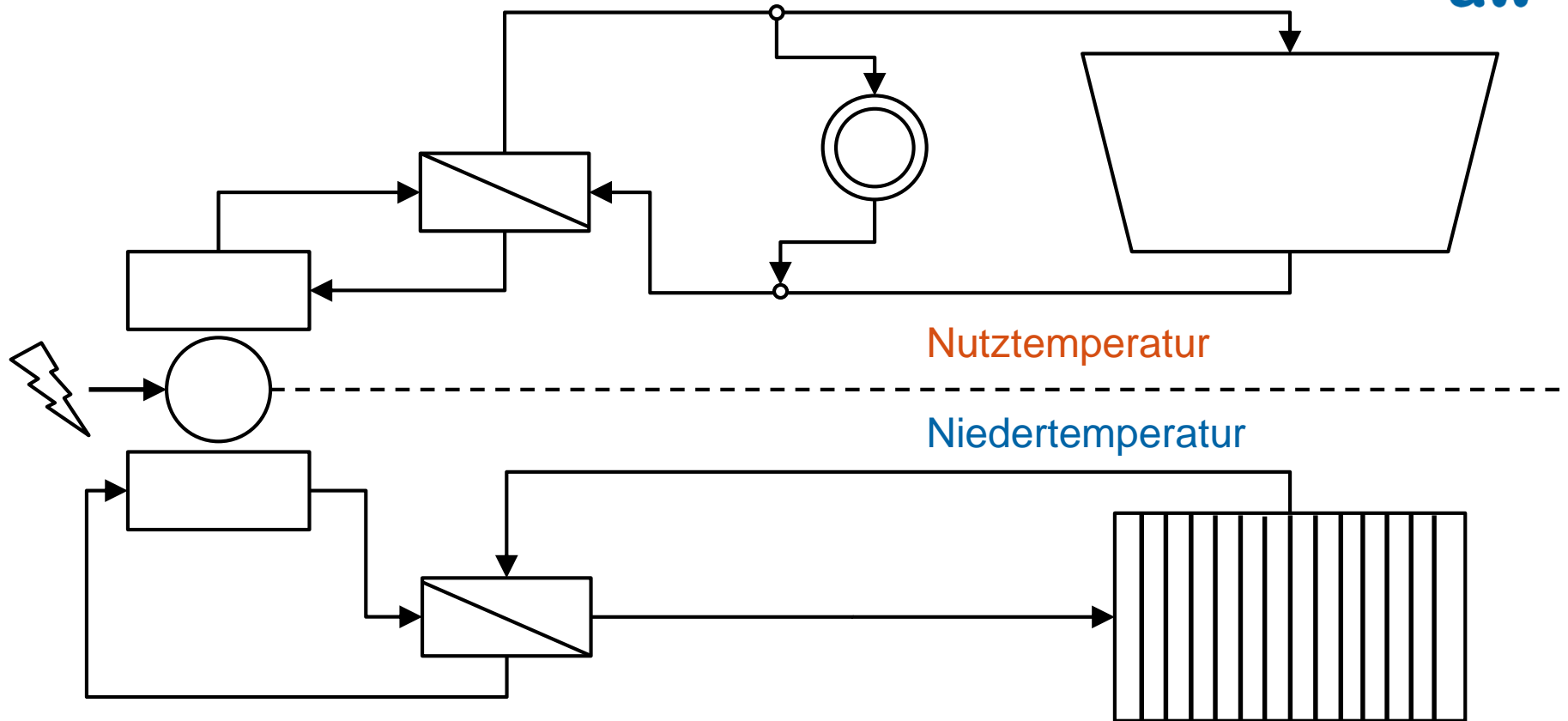


thermochemisch

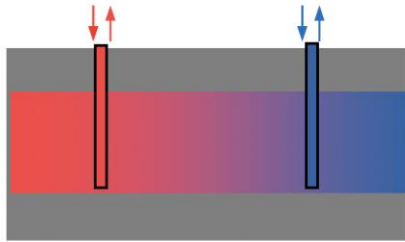


Source: <http://comtes-storage.eu>

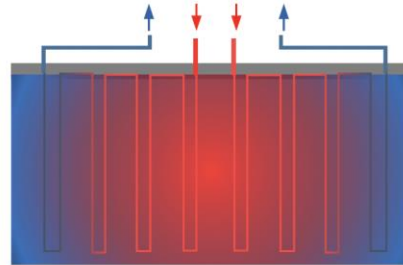
Niedertemperatur vs. Nutzttemperatur



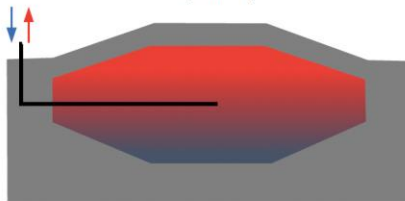
Typen sensibler thermischer Langzeitspeicher



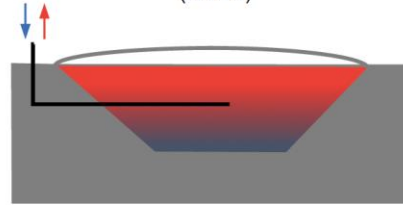
(a) Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)



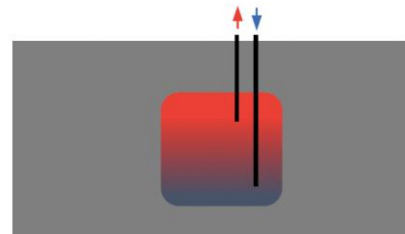
(b) Borehole Thermal Energy Storage (BTES)



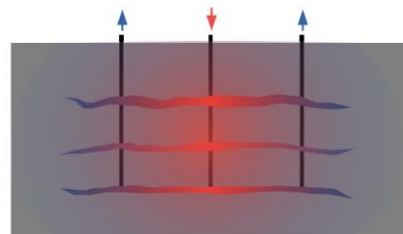
(c) Tank Thermal Energy Storage (TTES)



(d) Pit Thermal Energy Storage (PTES)



(e) Cavern Thermal Energy Storage (CTES)

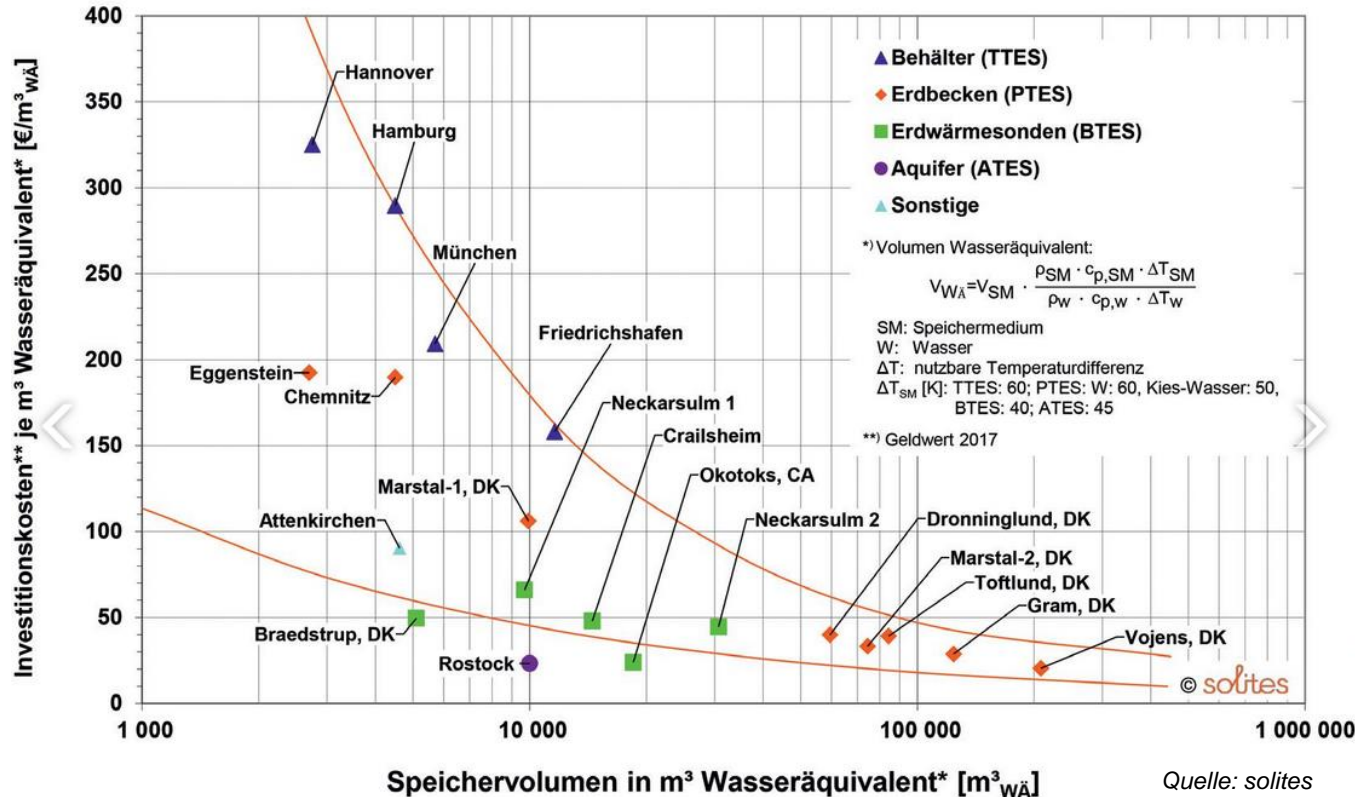


(f) Fractured Thermal Energy Storage (FTES)

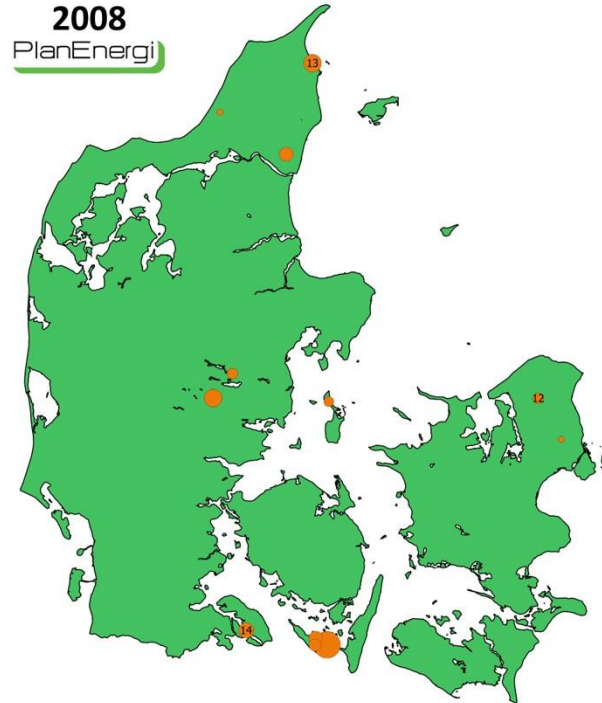
Quelle:
Mateusz Janiszewski, Techno-economic aspects of seasonal underground storage of solar thermal energy in hard crystalline rocks, Doctoral Thesis, Aalto University, Finland, 2019.

Sensible thermische Langzeitspeicher – Economy of scale

Kosten von saisonalen Wärmespeichern (ohne Planung und MwSt.)

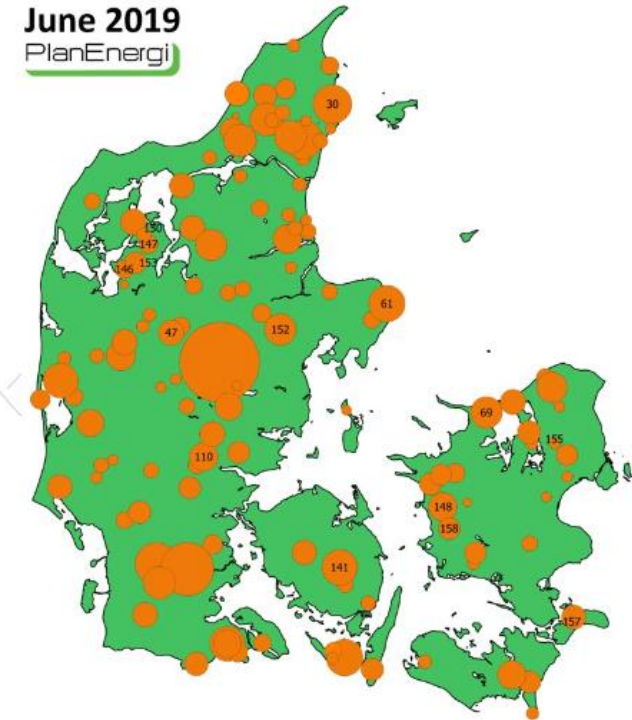


Blick ins Ausland / Dänemark – Solare Fernwärme



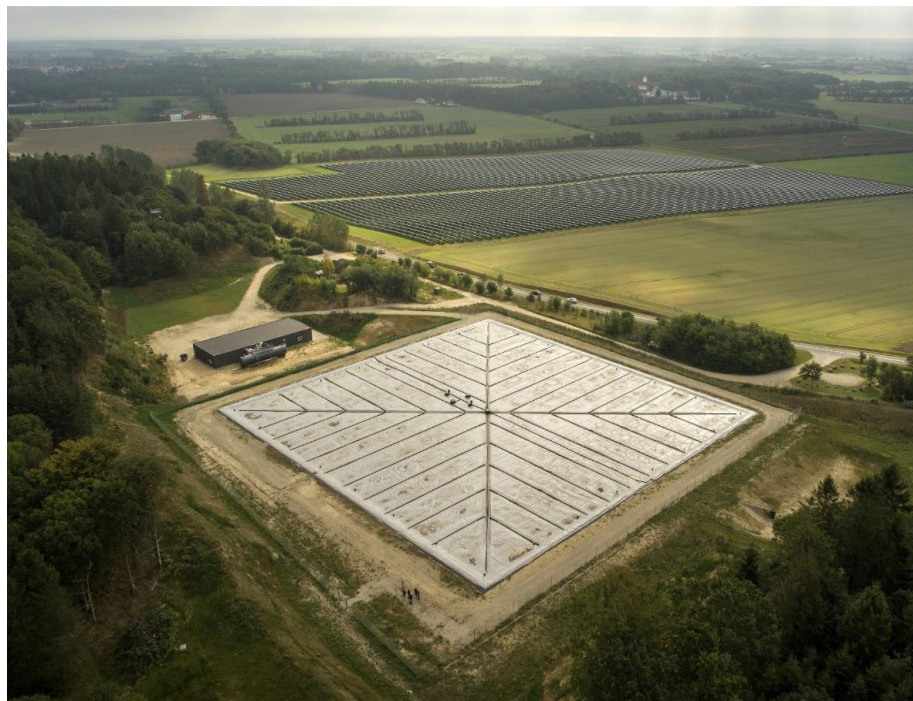
1.6 Mio m²
Solarkollektoren

> 1 GW_{th}



Droninglund, DK – Nutztemperatur Erdbeckenspeicher

Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften

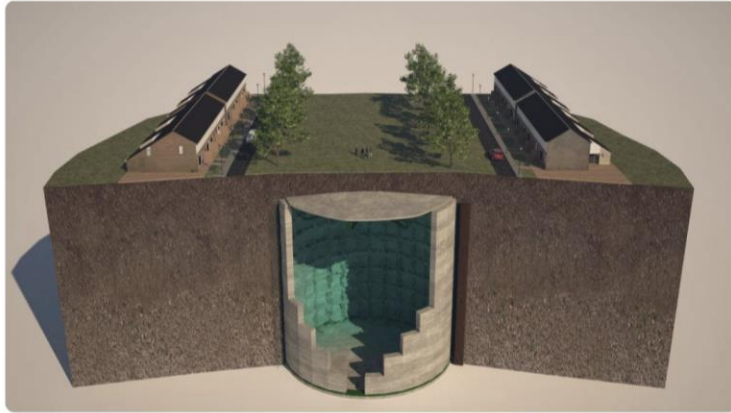


Quelle: PlanEnergi

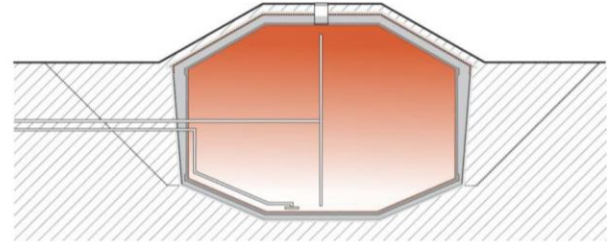
Volumen	60,000 m ³
Erstellungs-/ Kapazitätskosten	2.3 Mio € 38 €/m ³ bzw. 0,416 €/kWh
Wärmenutzungskosten	0.01 €/kWh
Temperaturen	10°C bis 90°C
Speicherkapazität	5.570 MWh
Be-/Entladeleistung	27 MW
Speichereffizienz	90%
Solarer Deckungsgrad	46%
Speicherzyklen/a	2.2

Nutztemperaturniveau Tank Wärmespeicher

Das Ecovat Konzept – Möglichkeit für Schweizer Nahwärmenetze



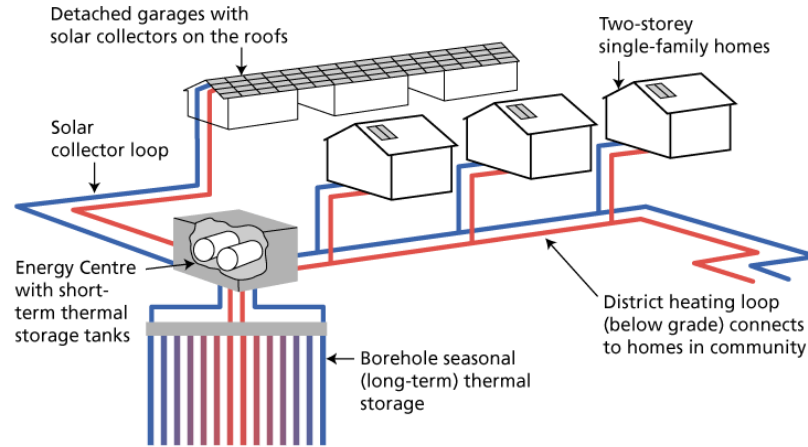
Tank thermal energy storage (TTES)



Tank-Wärmespeicher, Ecovat

Volumen:	20'000 - 100'000 m ³
Speicherkapazität:	1'900 – 8'600 MWh _{th}
Speichereffizienz:	85– 95%
Erstellungskosten:	5.9 – 14.5 Mio. CHF (1.68 CHF/kWh)

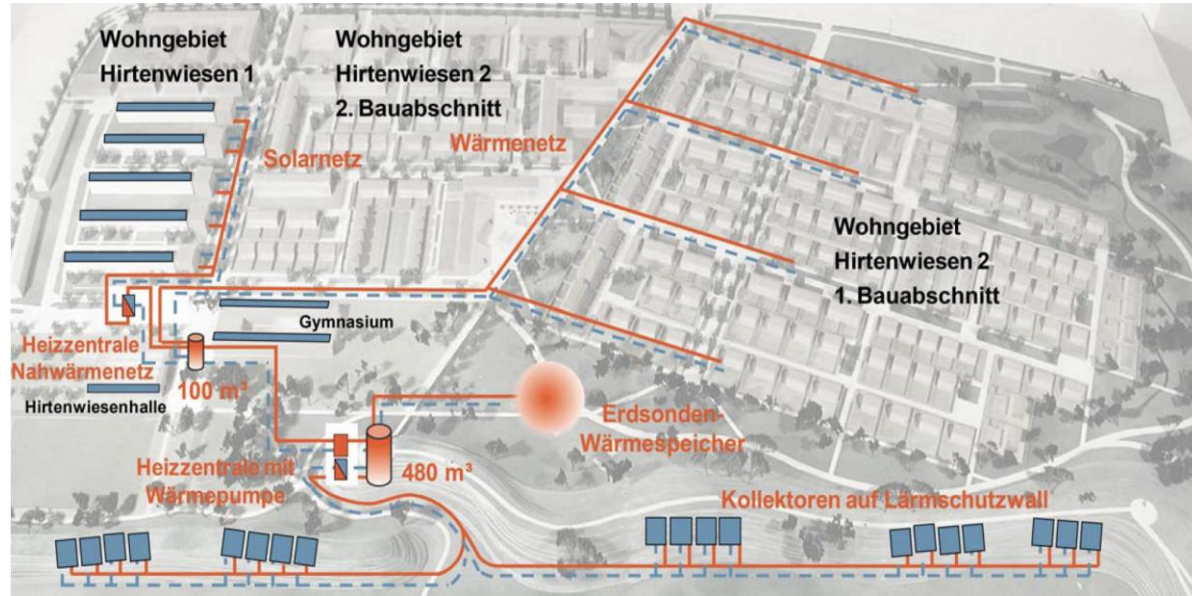
Drake Landing, CA – Nutztemperatur-Erdsondenspeicher



- 52 Häuser
- 144 Erdsonden
- 2'300 m² Solarkollektoren
- Erdsondenspeicher bis 70 °C
- 100% solare Deckung 2015/16
- 10 Jahre in Betrieb

Quellen: DLSC, NRCan

Crailsheim, DE – Nutztemperatur-Erdsondenspeicher

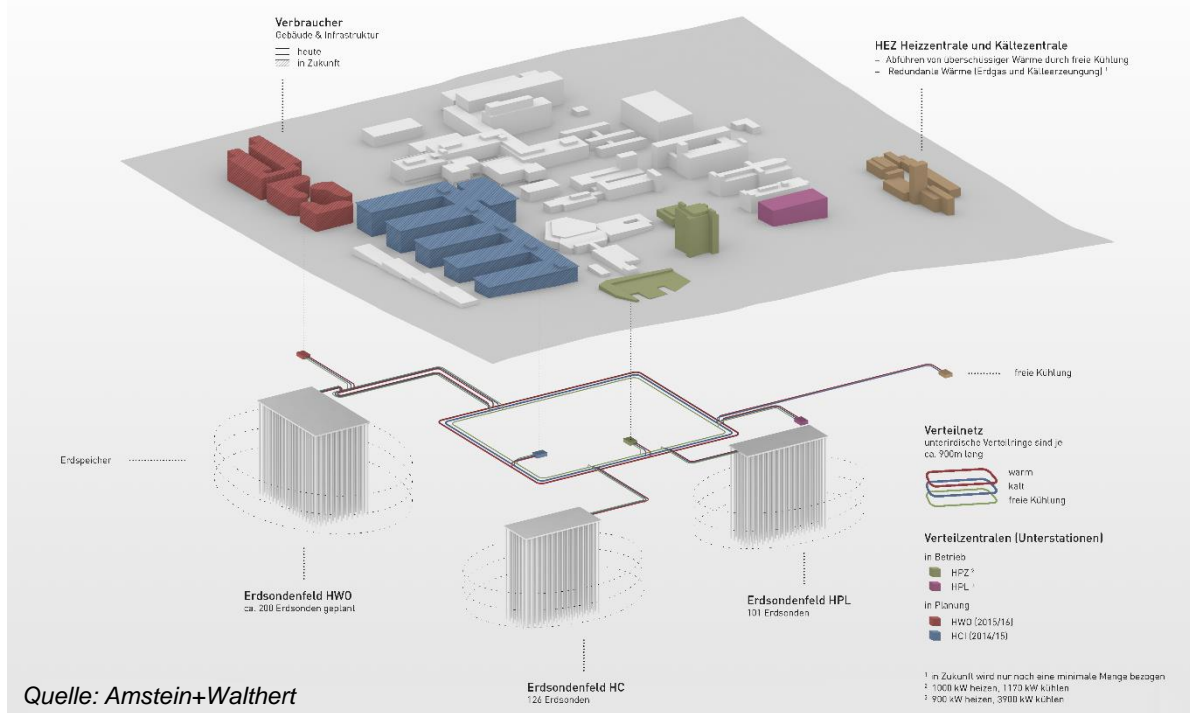


Quelle: www.solare-waermenetze.de

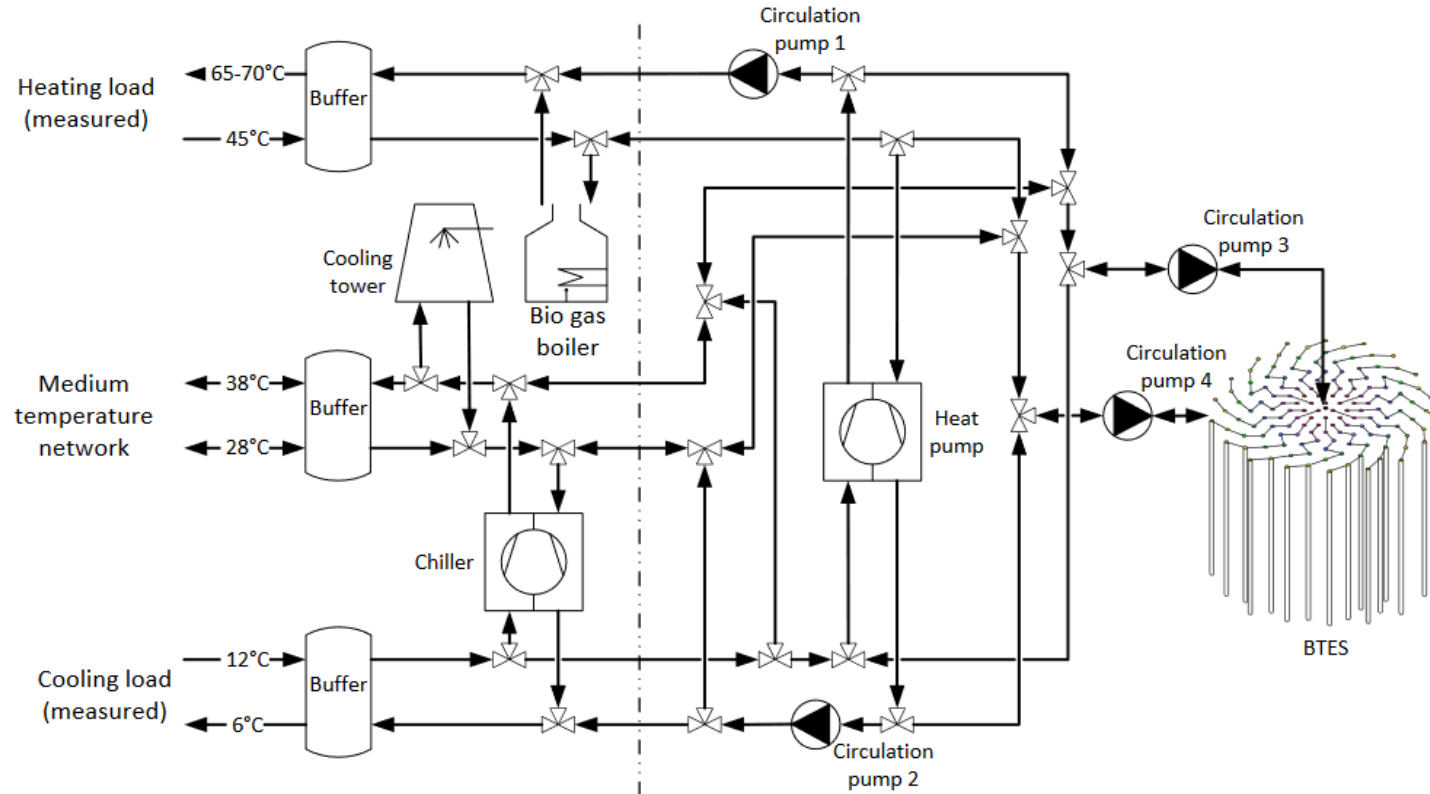
- 7300 m² Solarkollektoren
- 37'500 m³ Erdsonden-speicher
- Ladetemperatur bis 90°C
- Einspeisung Wärmenetz 4.7 GWh/a

ETH Campus Höggerberg - Niedertemperatur Erdsondenfelder

ETH Zurich, Campus Höggerberg
Anergienetz

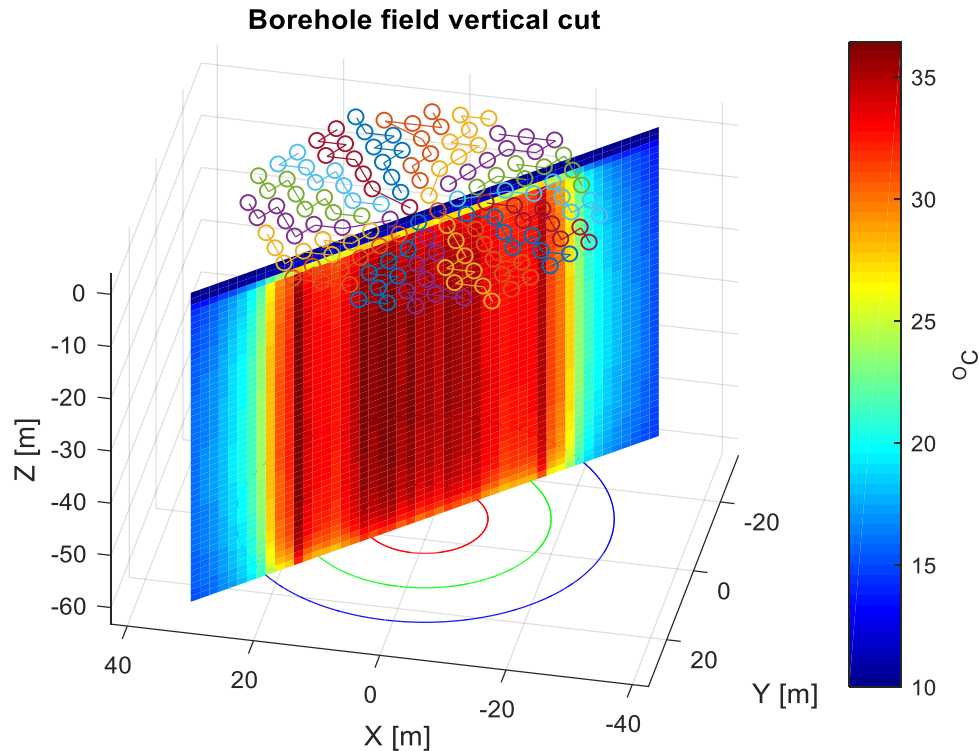


Empa Dübendorf – Nutztemperatur Erdsondenspeicher



Source: Weber, R., Baldini, L. High Temperature Seasonal BTES for Effective Load Shifting and CO2 Emission Reduction, EuroSun 2018 Conference Proceedings.

Empa Dübendorf – Nutzttemperatur Erdsondenspeicher



- Wird mit Abwärme (hohe Temperaturen $\sim 70^{\circ}\text{C}$) im Kühlbetrieb geladen
- Entladung mit höherem Winter-COP der WP / Direktentladung ohne WP
- Geringere CO₂ Emissionen bei niedrigerer Energieeffizienz im vgl. mit Niedertemperatur-BTES
- Untersuchung Systemintegration in Forschungsprojekt

Source: Stratos Tzinnis. Semester thesis. ETH Zurich, Empa, 2019.

Empa Dübendorf – Nutztemperatur Erdsondenspeicher



In Verbindung mit einer Wärmepumpe wird das Erdsondenfeld in Dübendorf laut der Forschungsanstalt rund 1,7 Mio. kWh jährlich zum Heizenergiebedarf des Campus Empa Eawag beitragen. (Foto: Empa)

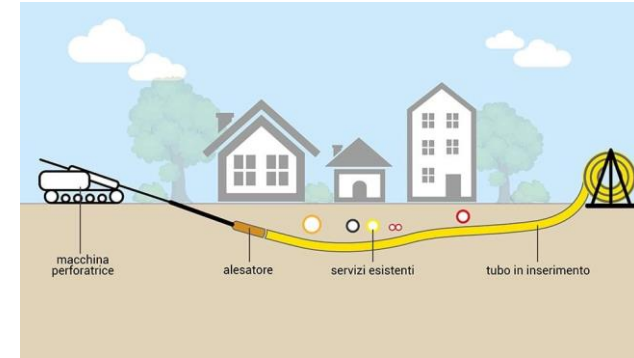
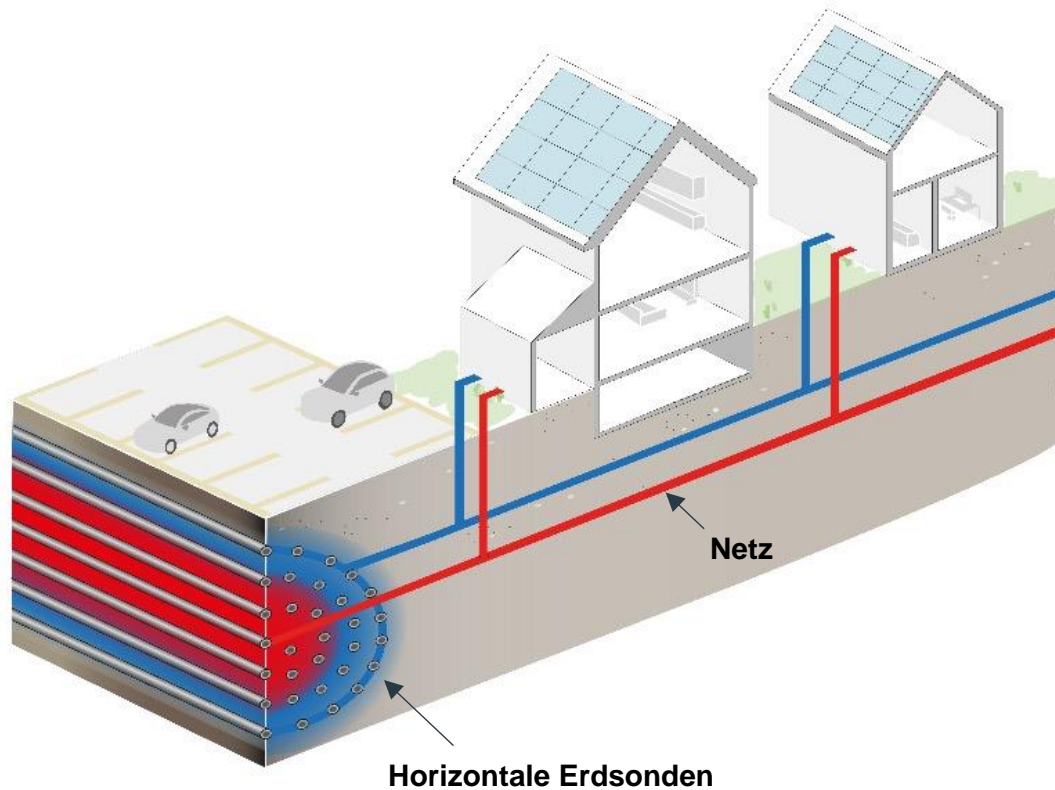
10 Jahre Pilotbetrieb ab 2024



Quelle: Stefan Schmid

Horizontal-verlegte Erdsondenfeld-Speicher

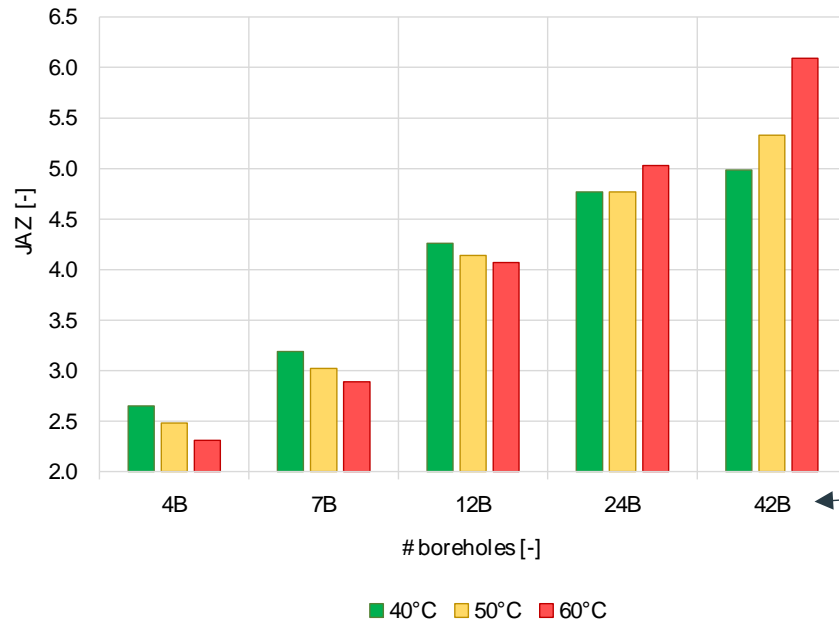
Speicherlösung für dicht bebaute Gebiete



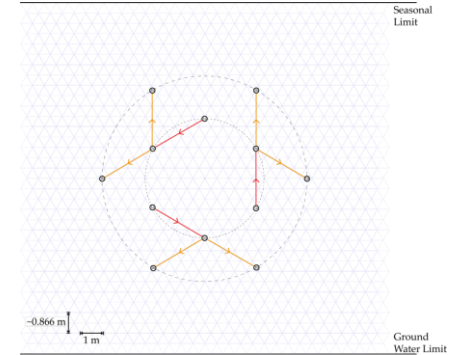
Gesteuerte Horizontal Bohrtechnik

- Umsetzbar **unterhalb von Gebäuden**
- Untergrund dient als Speichermedium
- Bei Niedertemperatur-Speichern:
Anwendung für Heizen und Kühlen
- Länge der einzelnen Erdsonden bis 1 km

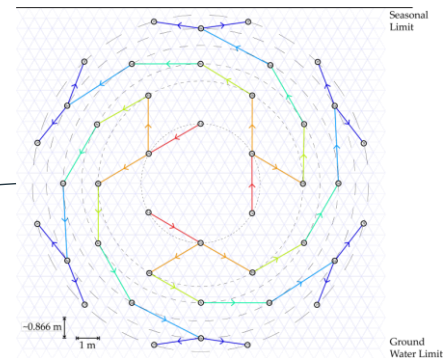
Horizontal-verlegte Erdsondenfeld-Speicher Performance



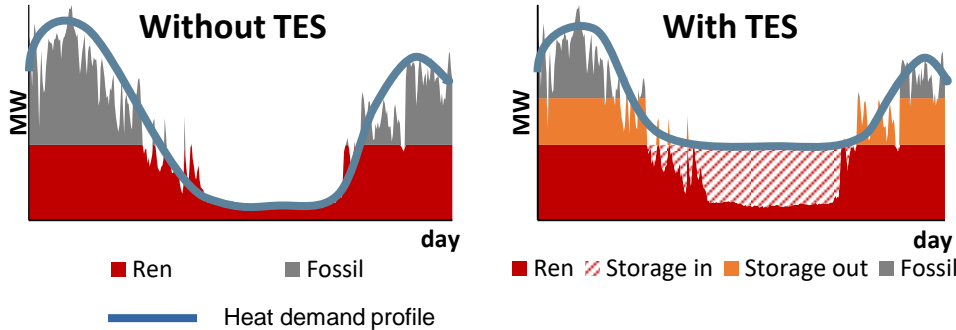
12 Erdsonden



42 Erdsonden



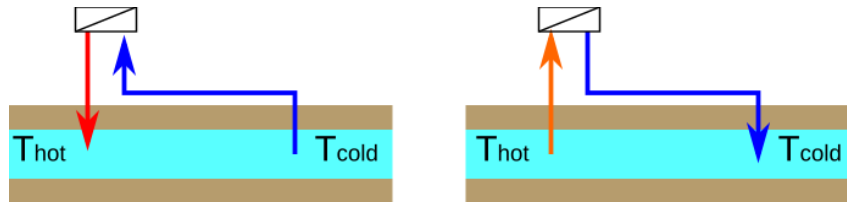
P2ATES – Aquifer-Wärmespeicher und Fernwärme



⇒ Erhöhung erneuerbare Spitzenlastabdeckung (geringere CO₂ Emissionen)

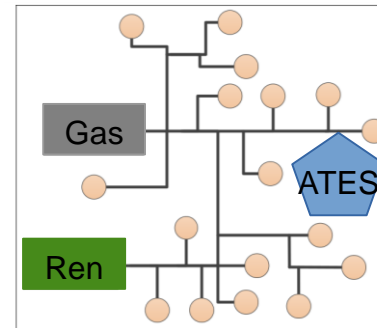
⇒ Erhöhung des erneuerbaren Deckungsgrad über das Jahr

Wieso ATES ?



⇒ Grosses Speichervolumen ohne Oberflächenbedarf (Siedlungsdichte)

Wieso ATES & Fernwärme ?



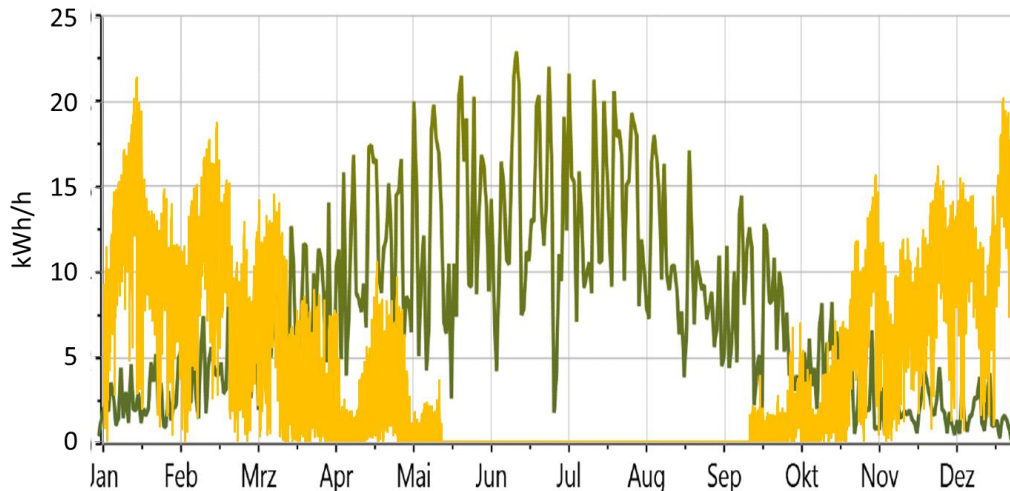
⇒ Möglichkeit optimaler Platzierung (Einschränkung durch Untergrund)

- Notwendigkeit für gute Planung (aquifer response, system integration, system evolution) <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:154605>
- Hohe Investitions- und Unterhaltskosten (Untersuchungen, Bohrung, Ablagerungen, Salzausfällung, Pumpsystemwartung)
- Risiko wegen Unsicherheit der “thermal response” und des maximalen Volumenstroms (Leistungseinschränkungen)
- Direkte Entladung eingeschränkt durch Rücklauftemperatur Fernwärme (ev. zusätzlicher Bedarf für Wärmepumpe)

Bedeutung thermischer Energiespeicher auf Gebäudeebene

Verschiebung von einer reinen **Energieeffizienzperspektive** hin zu einer Perspektive der **Wintereffizienz** und der **Integration erneuerbarer Energien**

> Dies führt unweigerlich zu einer **stärkeren Gewichtung der Energiespeicherung**



Starke Fluktuationen im Wärmebedarf und in der solaren Erzeugung mit unterschiedlichen Zeitskalen

Bedeutung thermischer Energiespeicher auf Gebäudeebene

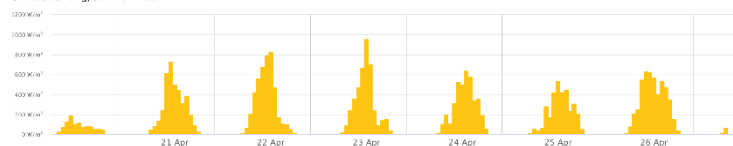
kurzzeitige Pufferung ≤ 1 Tag:

- kleine Wasserspeicher
- Batterien

“Solarflaute” > 1 Tag:

- grössere Wasserspeicher

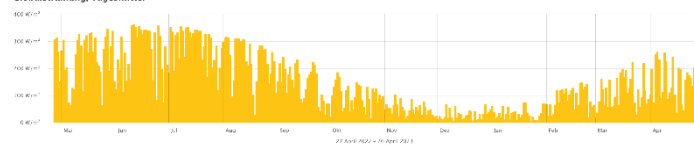
Globalstrahlung, Stundenmittel



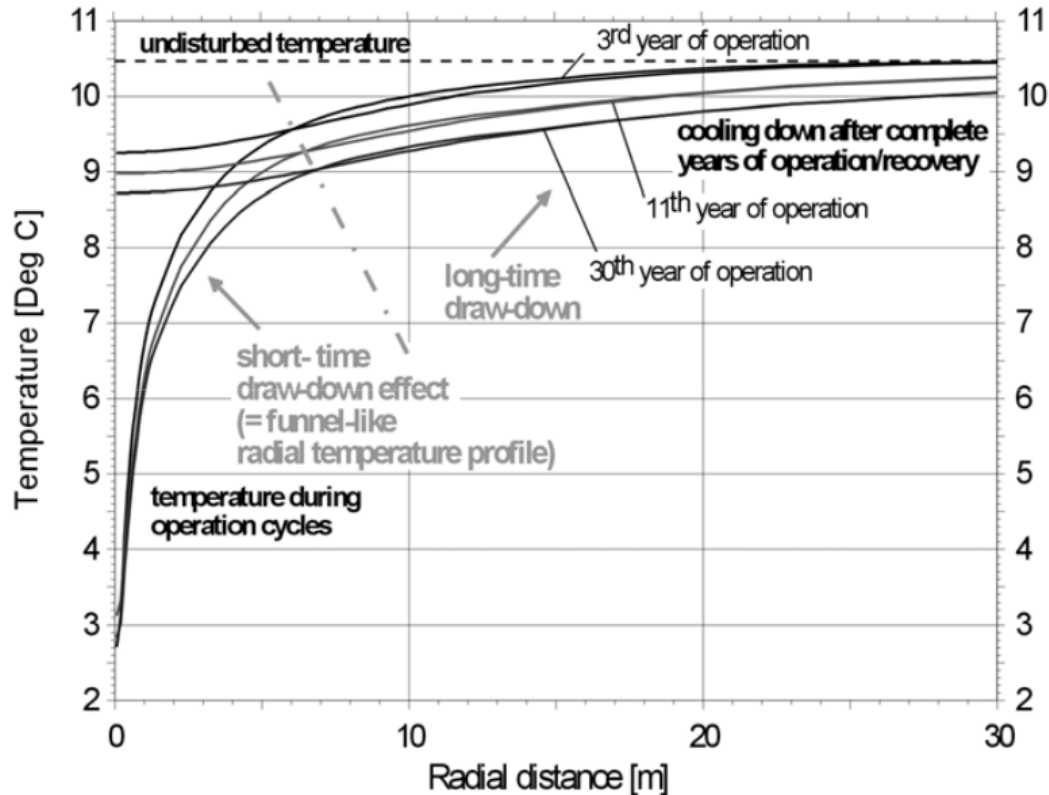
saisonale Phasenverschiebung:

- Regeneration Erdsonde
- grosse Wasserspeicher
- neue Technologien (Wärmespeicher)

Globalstrahlung, Tagesmittel



Erdsondenregeneration



Source: Rybach, L. (2001). Design and performance of borehole heat exchanger/heat pump systems. Proc. European Summer School of Geothermal Energy Applications, Oradea/Romania

Tankspeicher – Optimierung MFH 100% solaration

www.spf.ch/sensopt

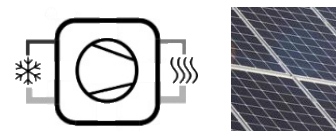
- Huttwil:
 - 110 m³ Speicher
 - 160m² Kollektoren



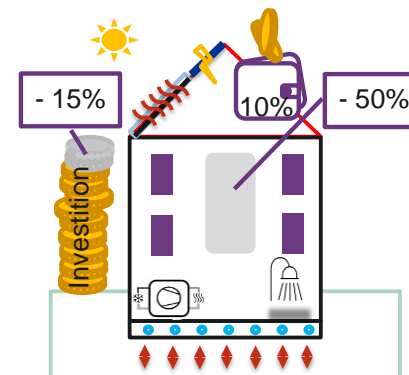
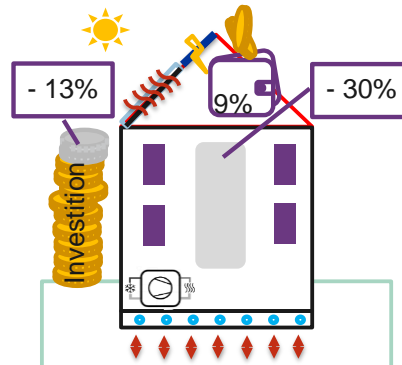
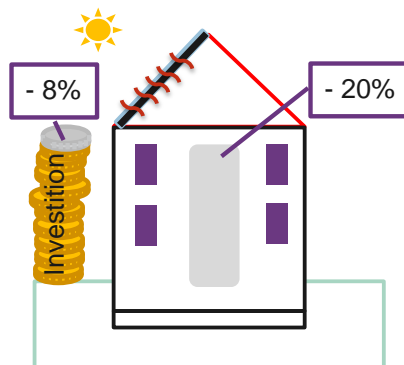
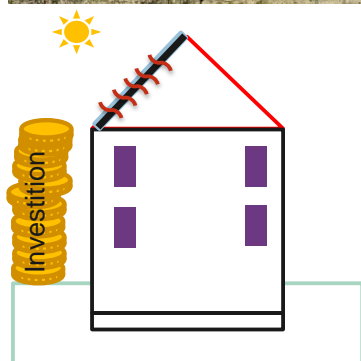
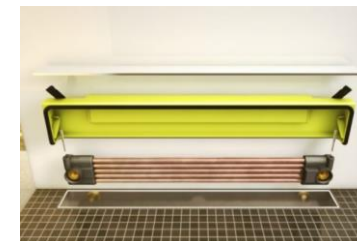
- Regelung optimiert



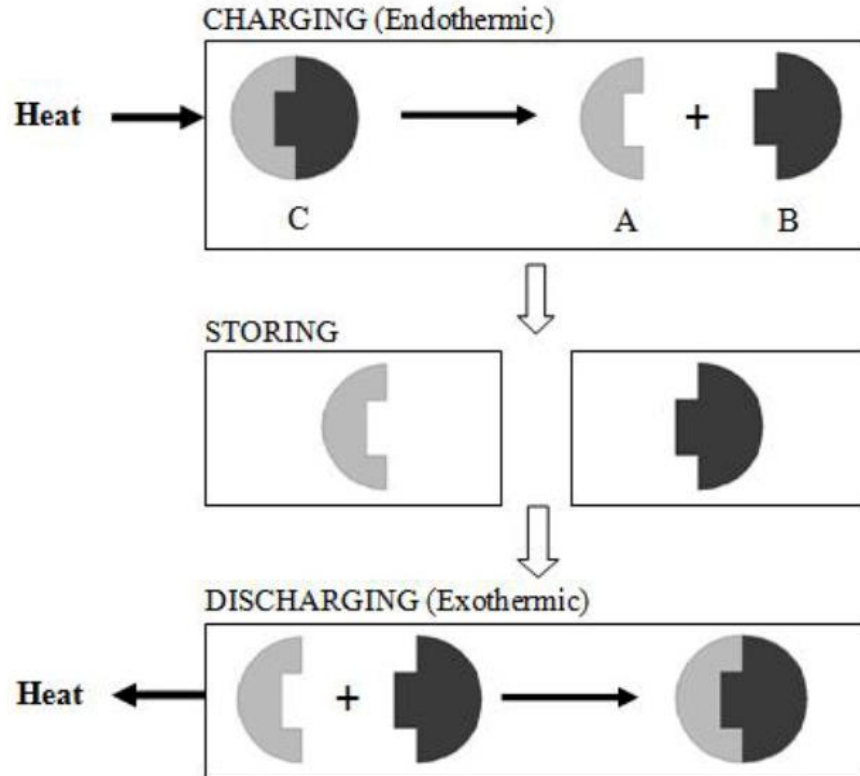
- 100 m² Kollektoren
- 60 m² PV
- WP, Fundamentplatte als Quelle



- + Duschwasser WRG



Thermochemische Speicherung

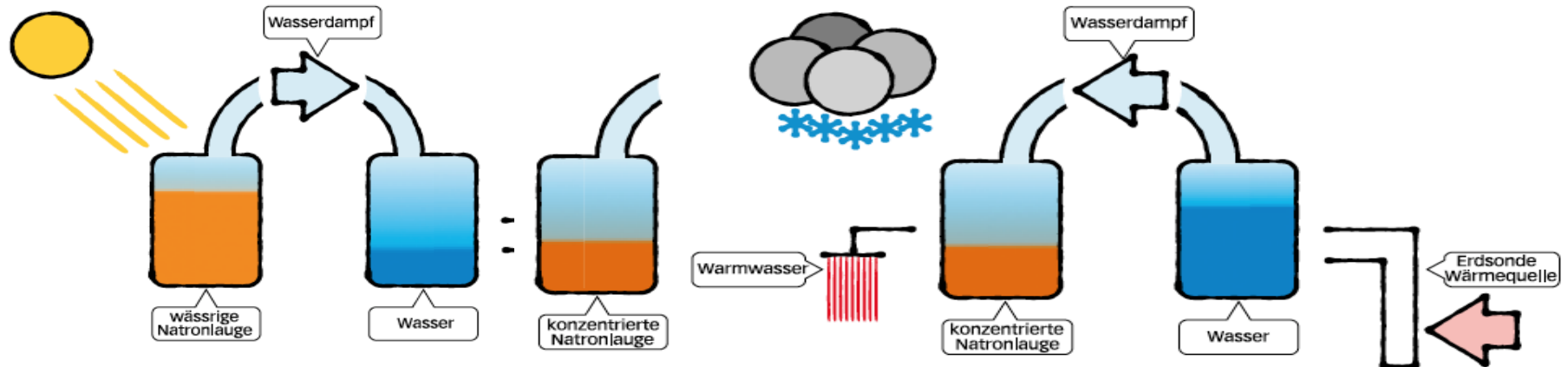


Sorptions-basierte Wärmespeicherung

Charging process

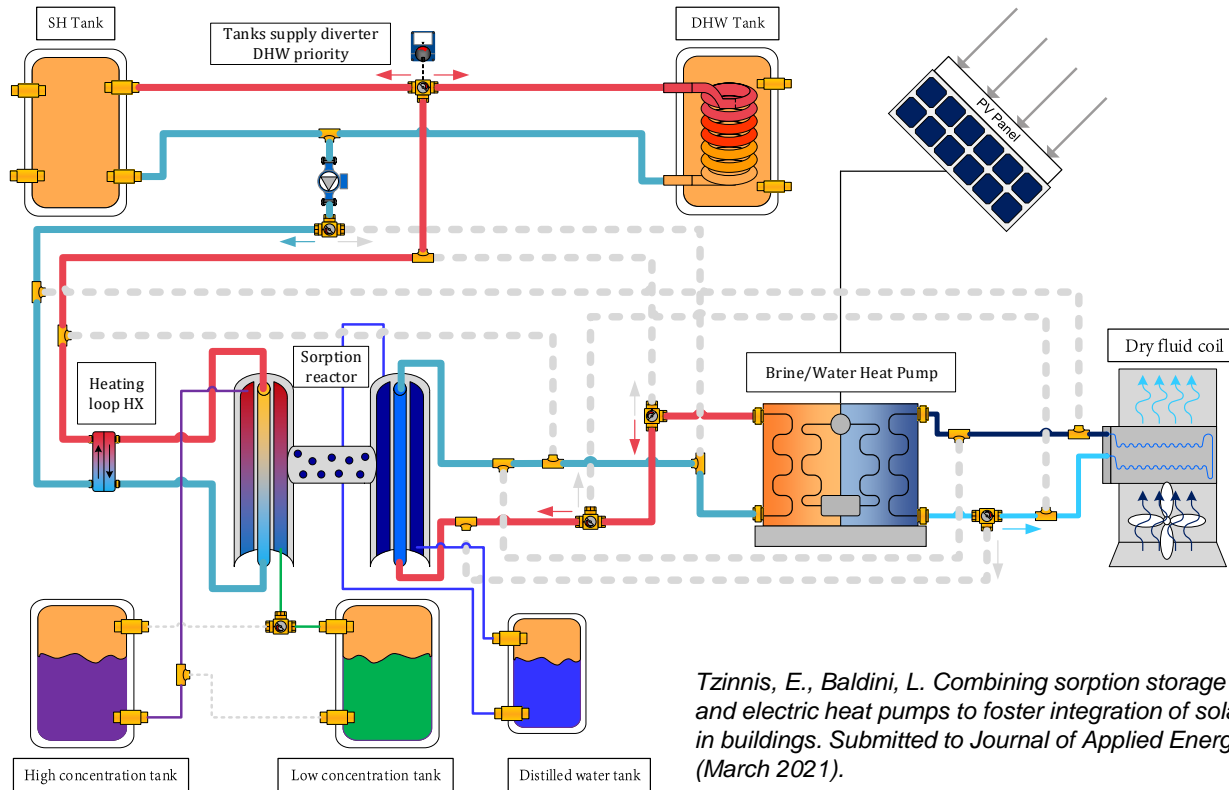
Inter-seasonal storage

Discharging process



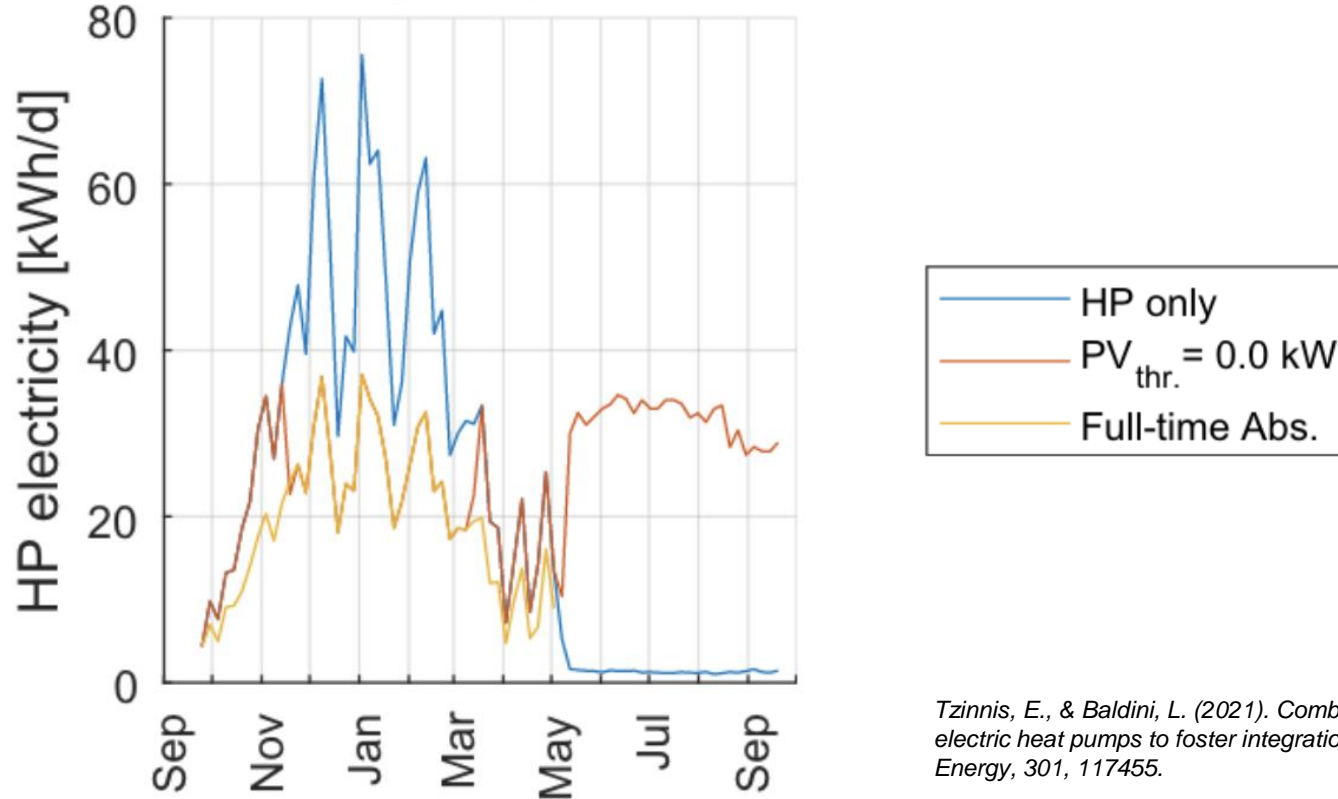
Man speichert nicht die Wärme sondern das Potential Wärme zu einem späteren Zeitpunkt zurück zu gewinnen

Absorptionsspeicher - Gebäudeintegration



Tzinnis, E., Baldini, L. Combining sorption storage and electric heat pumps to foster integration of solar in buildings. Submitted to Journal of Applied Energy (March 2021).

Absorptionsspeicher – Verändertes Lastprofil



Tzinnis, E., & Baldini, L. (2021). Combining sorption storage and electric heat pumps to foster integration of solar in buildings. *Applied Energy*, 301, 117455.

Zusammenfassung / Schlussfolgerungen

- Grosse, **saisonale Wärmespeicher** spielen eine **zentrale Rolle für die Einbindung neuer erneuerbarer Energien** (Solar) und die **Reduktion des Winterstrombedarfs**
- Für die Schweiz kann gemäss einer Untersuchung der **Winterstrombedarf** durch saisonale Wärmespeicher **um bis zu 4 Twh_{el} gesenkt** werden (Sektorkopplung)
- Thermische Langzeitspeicher müssen deshalb vermehrt ins Bewusstsein gelangen (BFE Energieperspektiven 2050+) und **systematisch evaluiert und in die strategische und räumliche Planung einbezogen** werden (vgl. Dänemark)
- **Fernwärme** besitzt ein grosses **Potential zur Dekarbonisierung** der Wärmeversorgung aber auch nur dann wenn **neue erneuerbare Energiequellen zusammen mit grossen saisonalen Wärmespeichern** eingebunden werden
- **Pilotprojekte** müssen gebaut und wissenschaftlich begleitet werden. Es braucht **mehr Mut und Riskobereitschaft**
- Für langfristige Speicherung auf **Gebäudeebene** bieten sich heute **regenerierte Erdsonden** oder grosse Wasserspeicher an
- Nebst bestehenden Technologien müssen **neue Technologien** weiterentwickelt werden

Danke für Ihre Aufmerksamkeit ...



Contact:

luca.baldini@zhaw.ch



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Federal Office of Energy SFOE

