

Institute of Hydraulic Engineering and Water Resources

COMBINED PUMPED HYDROPOWER AND HEAT STORAGE

Pumpspeicherkraftwerk mit Wärmespeicher Konzeptstudie

**Wolfgang Richter
Gerald Zenz**

09.02.2016

Idee

Kombination dezentrale und zentrale Solarthermie

+

Fernwärmenetz

+

Wärmespeicher in Wasserkörper

→ Nutzung eines Pumpspeichersystems

→ Elektrische Speicherung und Wärmespeicherung

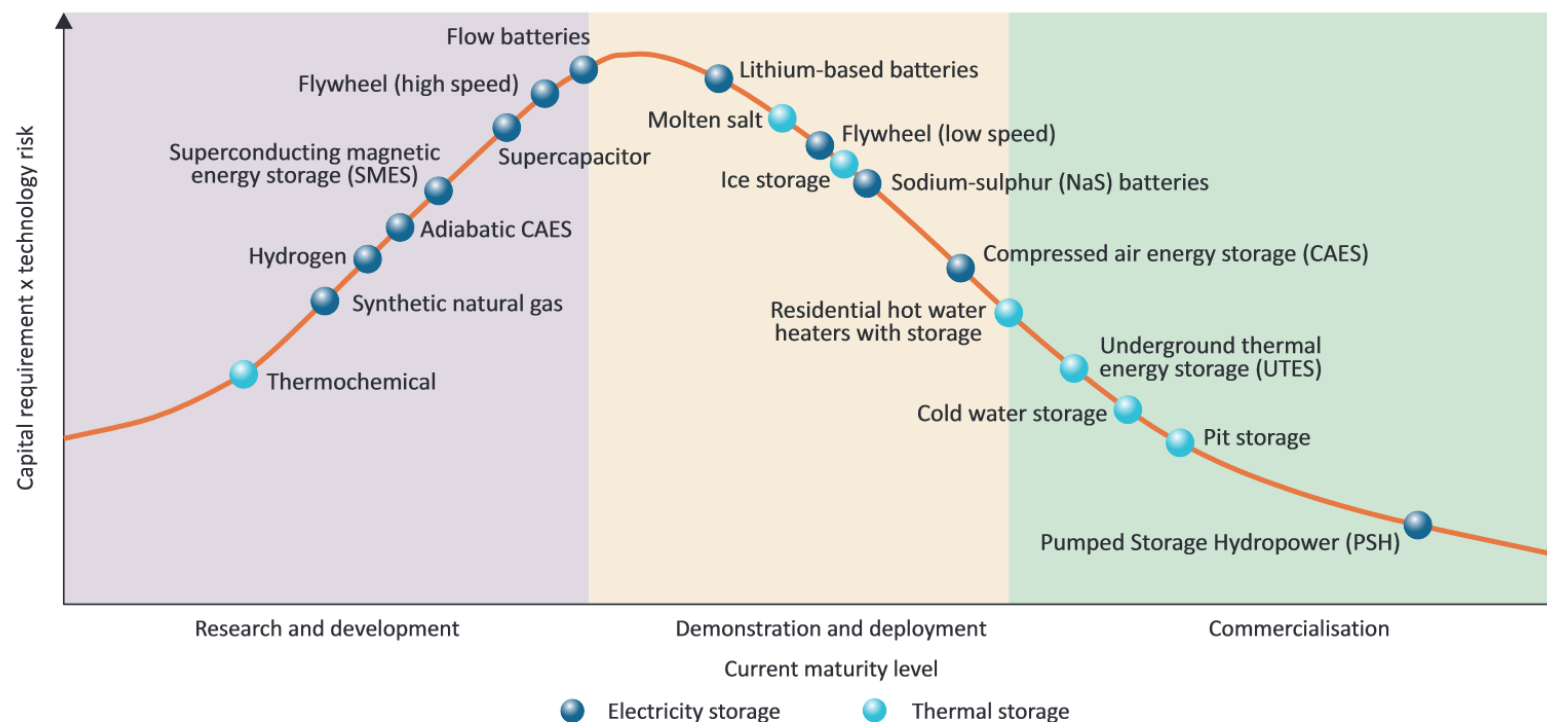
Ziel

Minimierung der Kosten eines ökologischen

Energiespeichers + CO₂ Einsparung

Storage technologies

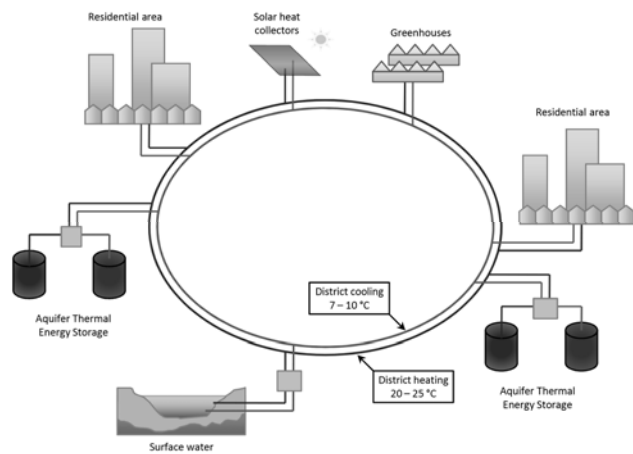
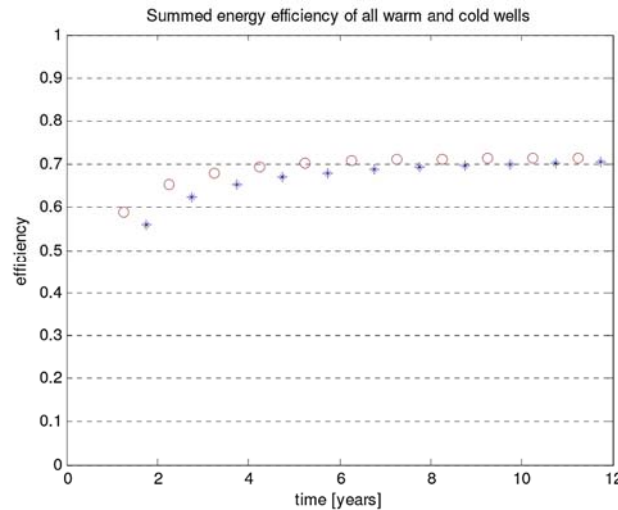
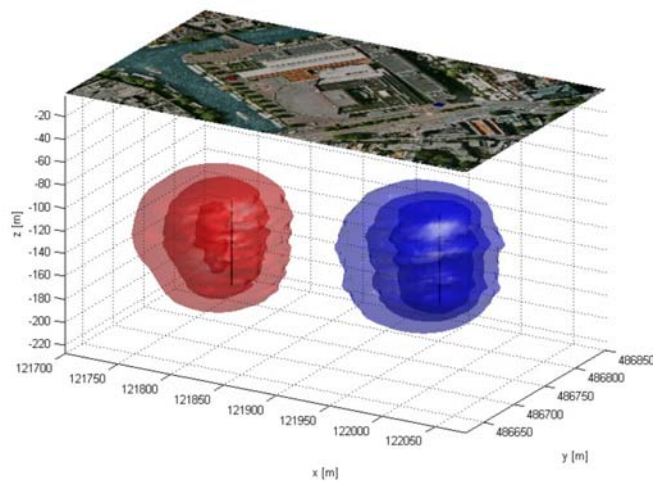
Figure 3: Maturity of energy storage technologies



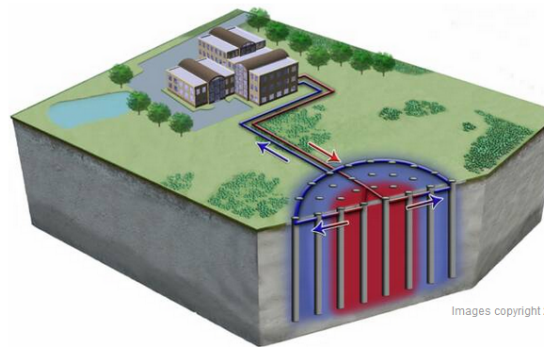
Source: Decourt, B. and R. Debarre (2013), "Electricity storage", *Factbook*, Schlumberger Business Consulting Energy Institute, Paris, France and Paksoy, H. (2013), "Thermal Energy Storage Today" presented at the IEA Energy Storage Technology Roadmap Stakeholder Engagement Workshop, Paris, France, 14 February.

4

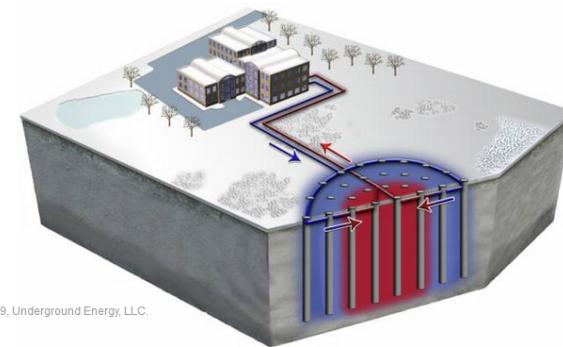
Vergleich ATES, BTES System – Niederlande - Aquifer Thermal Energy Storage -



BTES - Borehole Thermal Energy Storage



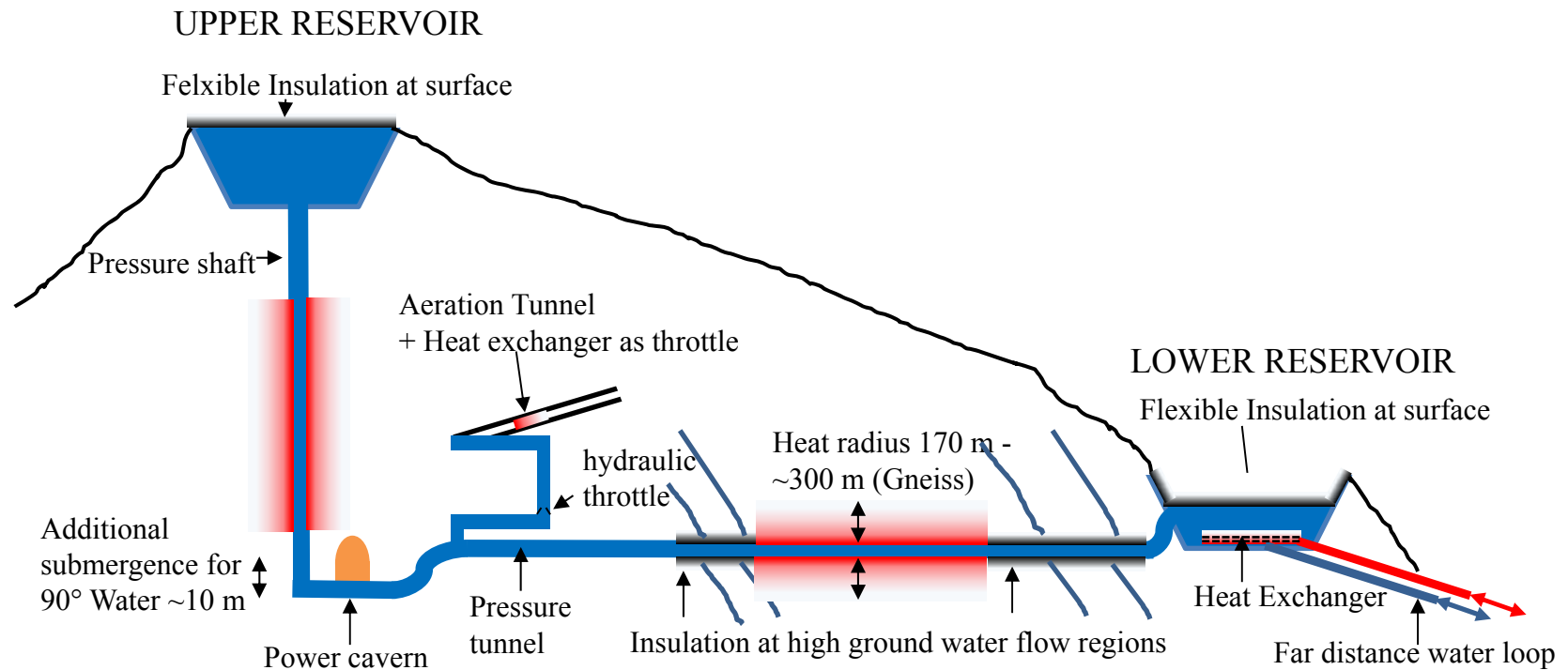
BTES Summer Operation - Cooling



BTES Winter Operation - Heating

Images copyright 2009, Underground Energy, LLC.

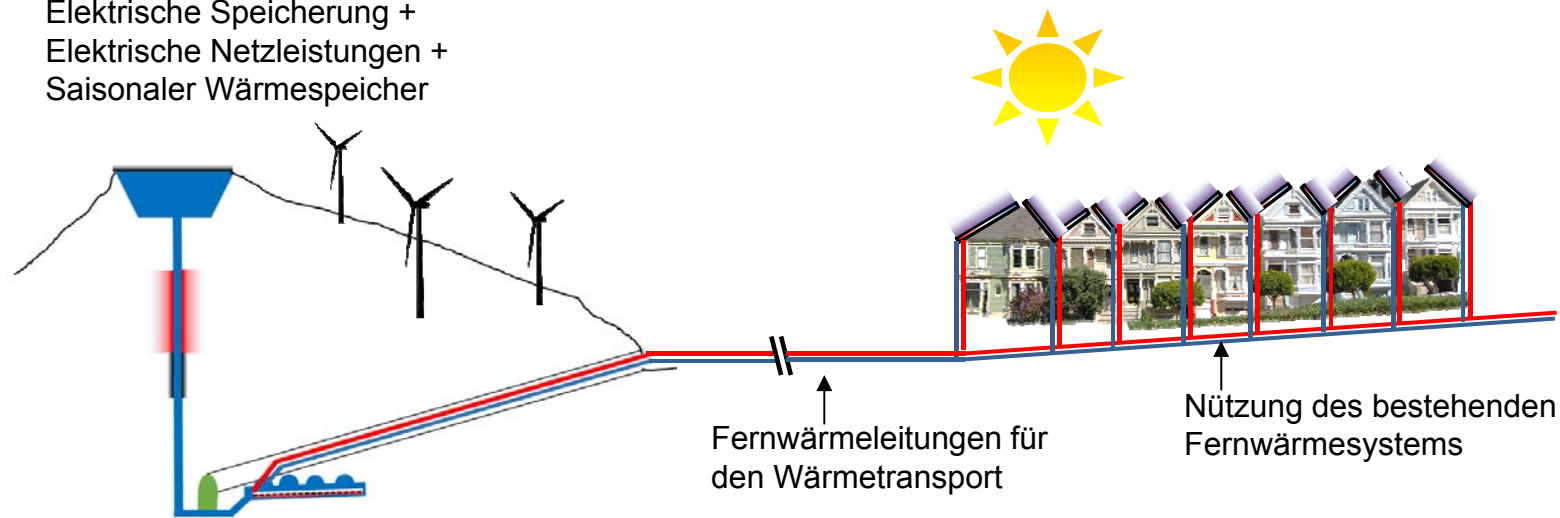
Schema eines PSKW – und Wärmespeichersystems



PSKW + Wärmespeicher – System saisonaler Wärmespeicher über Fernwärmeleitungen

Kombination dezentraler und zentraler
Energie – und Sonnenspeicherung

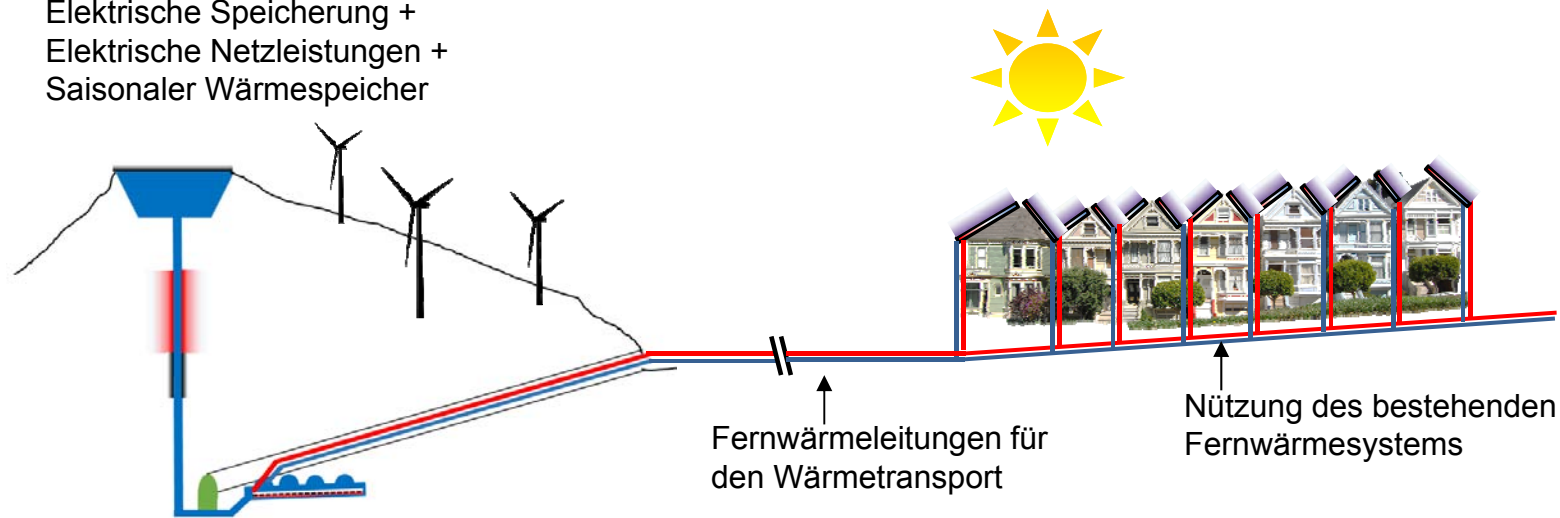
PSKW +
Elektrische Speicherung +
Elektrische Netzleistungen +
Saisonaler Wärmespeicher



PSKW + Wärmespeicher – System saisonaler Wärmespeicher über Fernwärmeleitungen

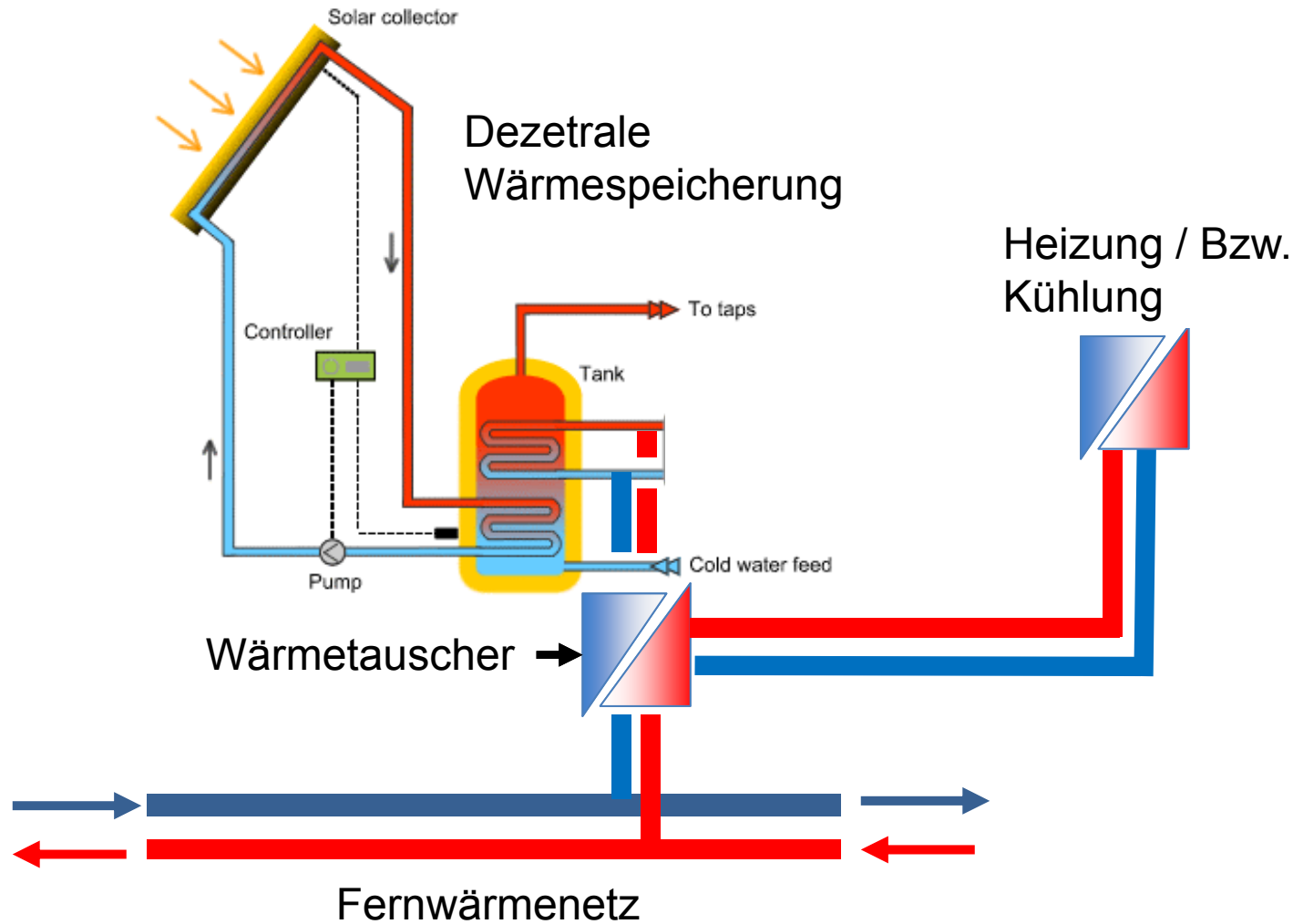
Kombination dezentraler und zentraler
Energie – und Sonnenspeicherung

PSKW +
Elektrische Speicherung +
Elektrische Netzleistungen +
Saisonaler Wärmespeicher



8

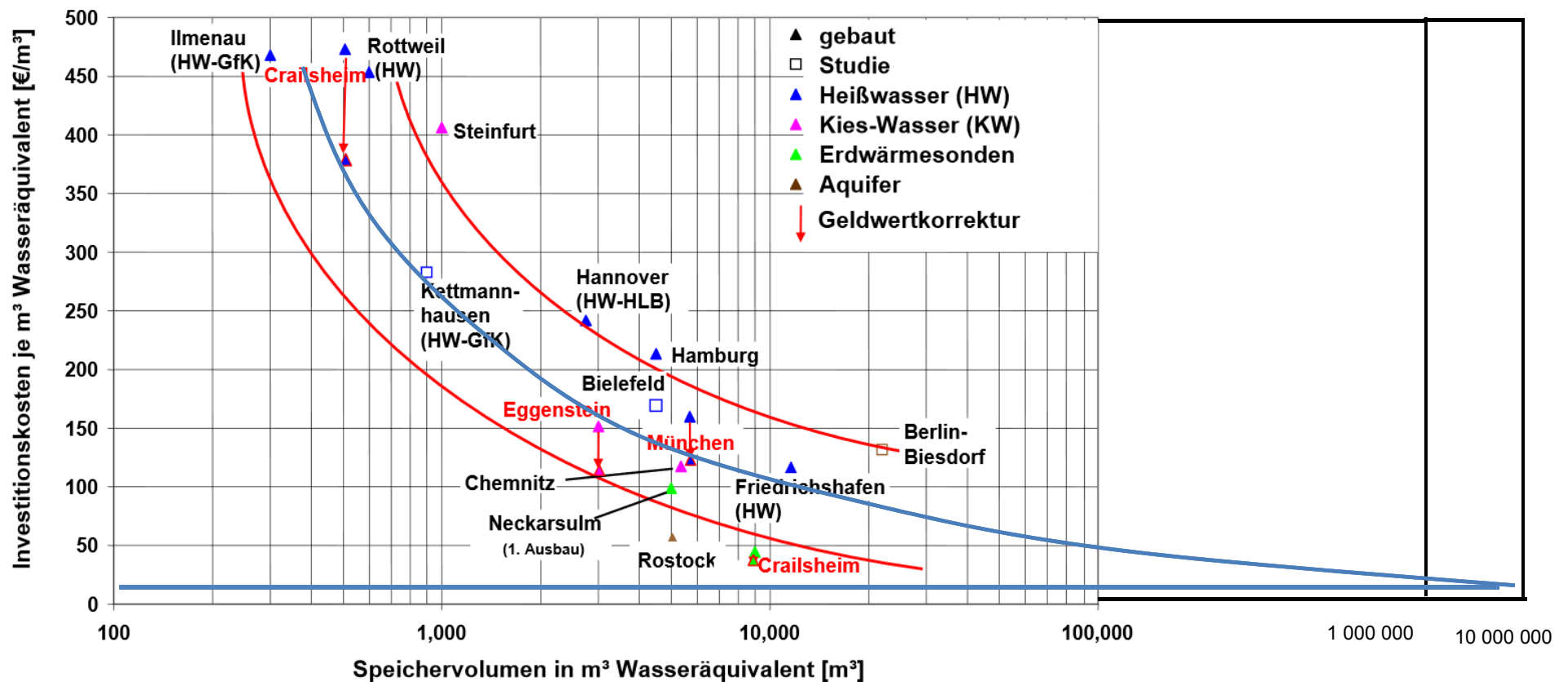
Detail – Möglichkeit Anbindung - Haushalt



(Quelle: <http://www.daviddarling.info/> - modifiziert)

Kosten von Wärmespeicher

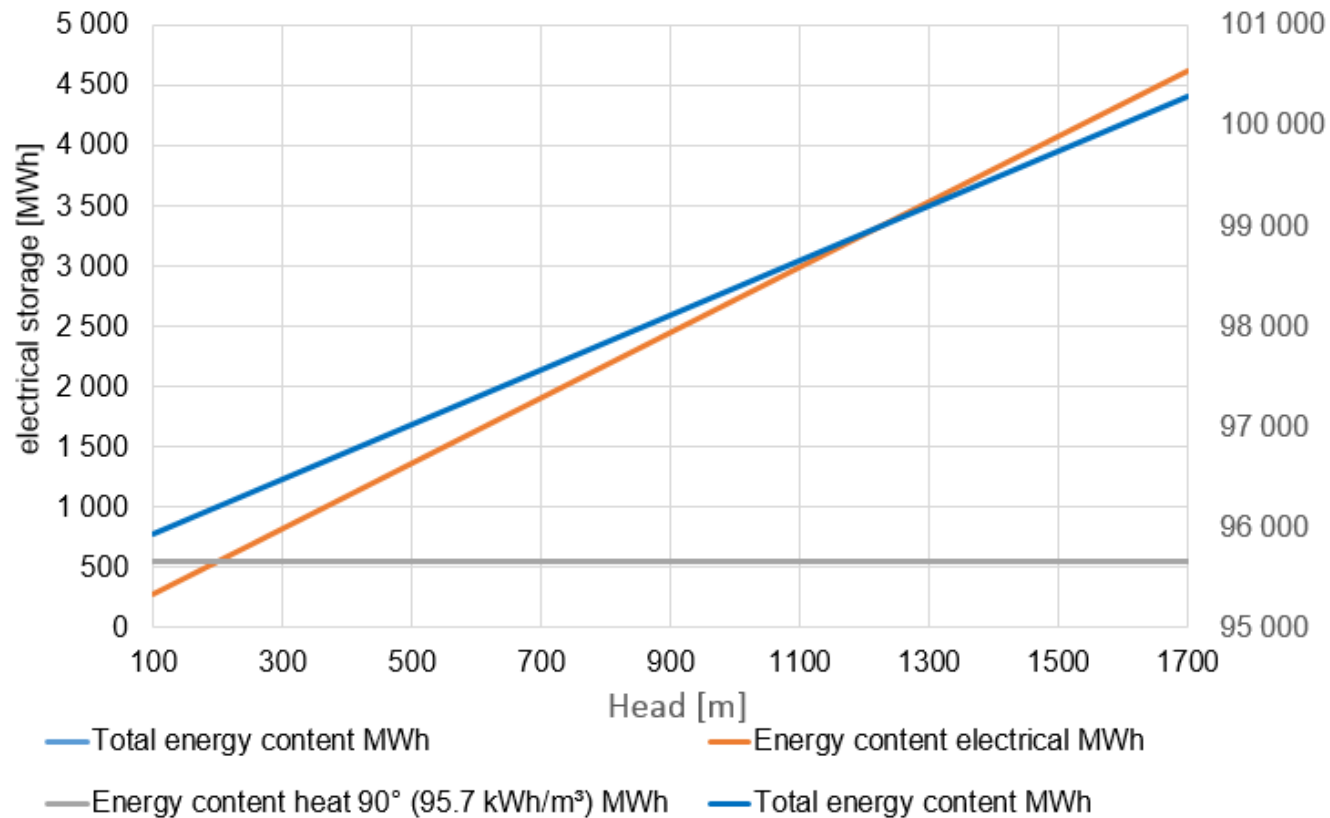
Investitionskosten von Langzeit-Wärmespeichern



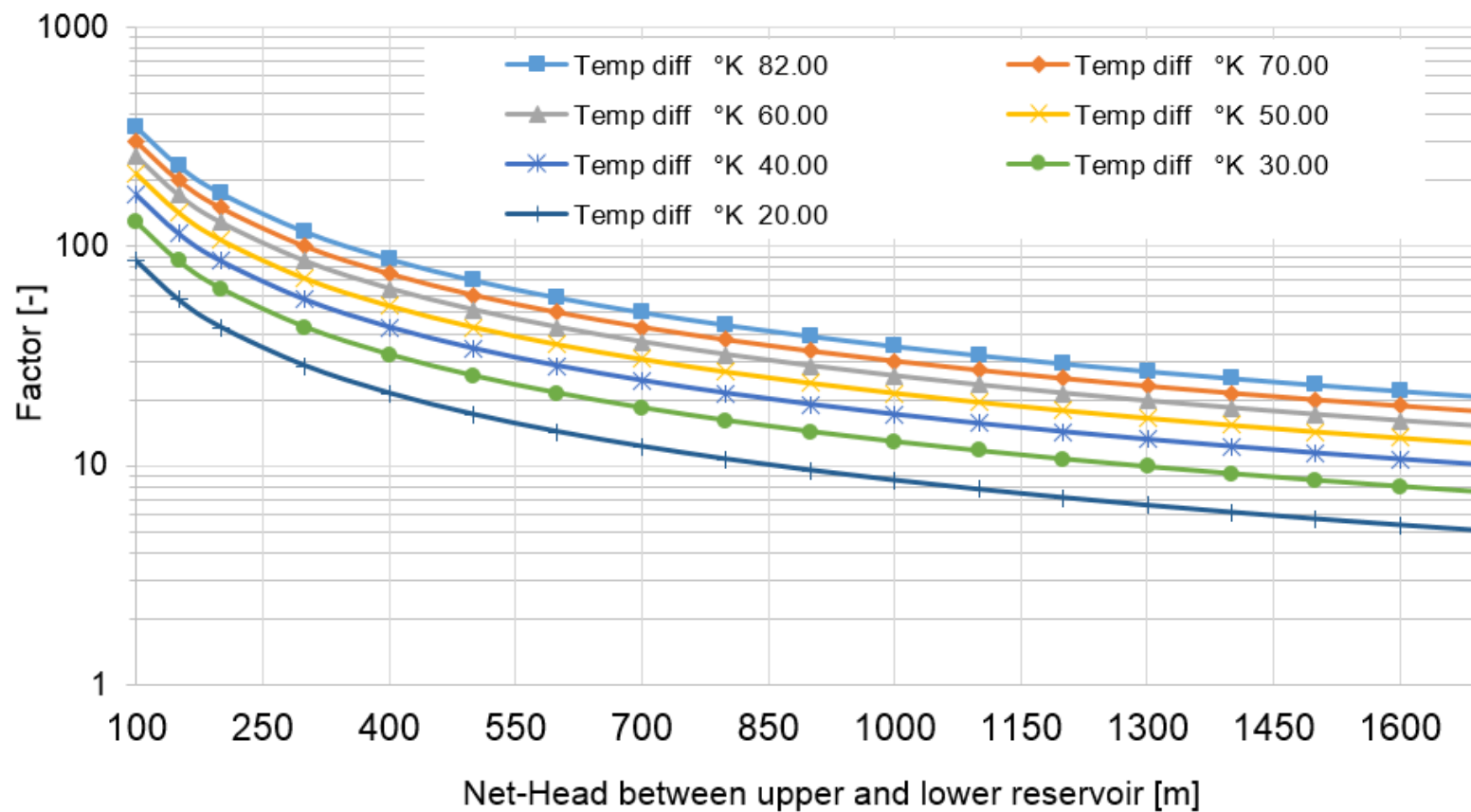
(Quelle: Mangold_Solites DSTTP – AG 3 Saisonale Wärmespeicherung)

Energieinhalt PSKW + Wärmespeicher 5 Mio. m³ Wasser auf 90° erhitzt

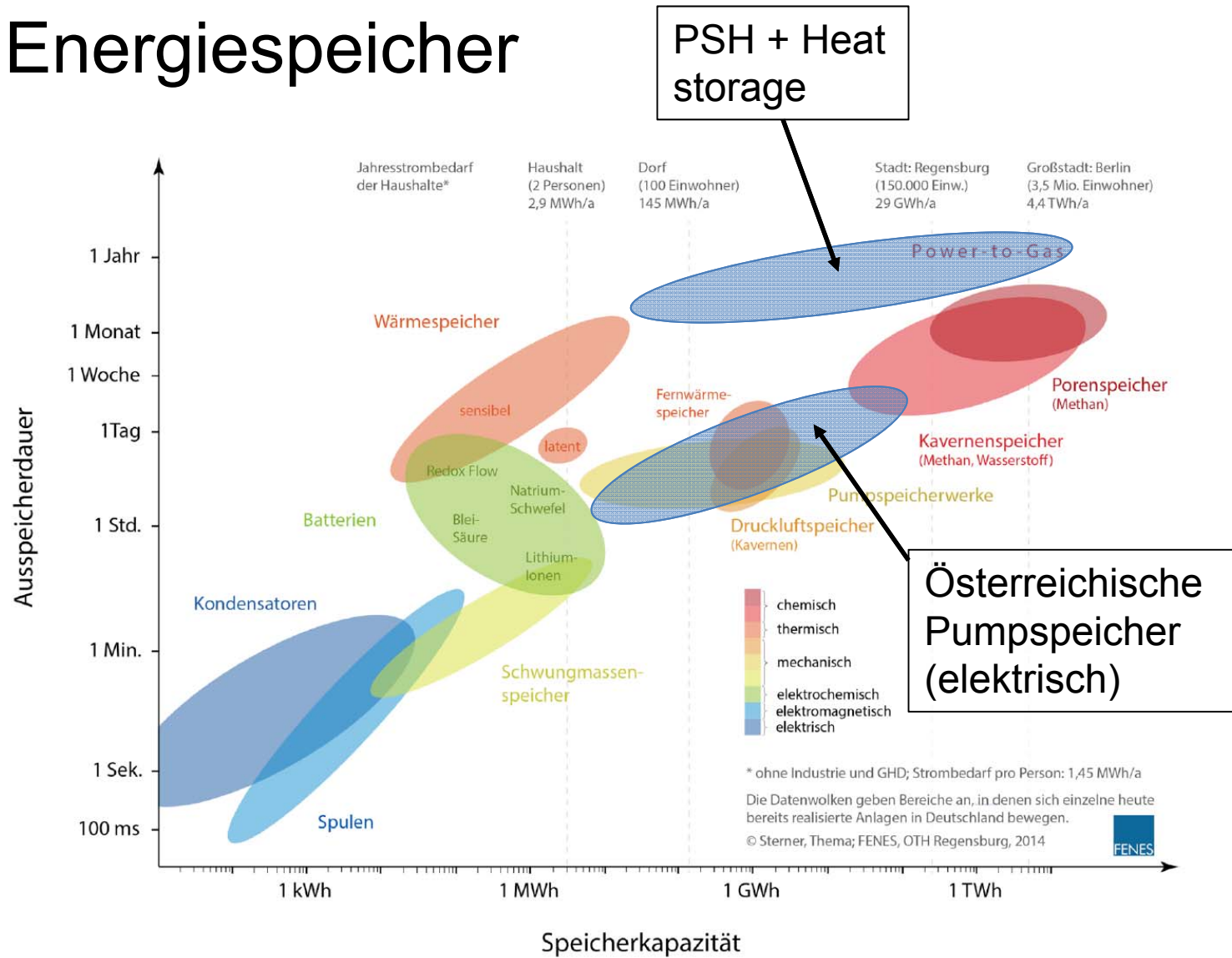
Energy content of PSH + Heat storage with 5 000 000 m³ water volume



Faktor Wärmespeicher vs. elektr. Speicher in einem kombiniertem PSKW + Wärmespeicher



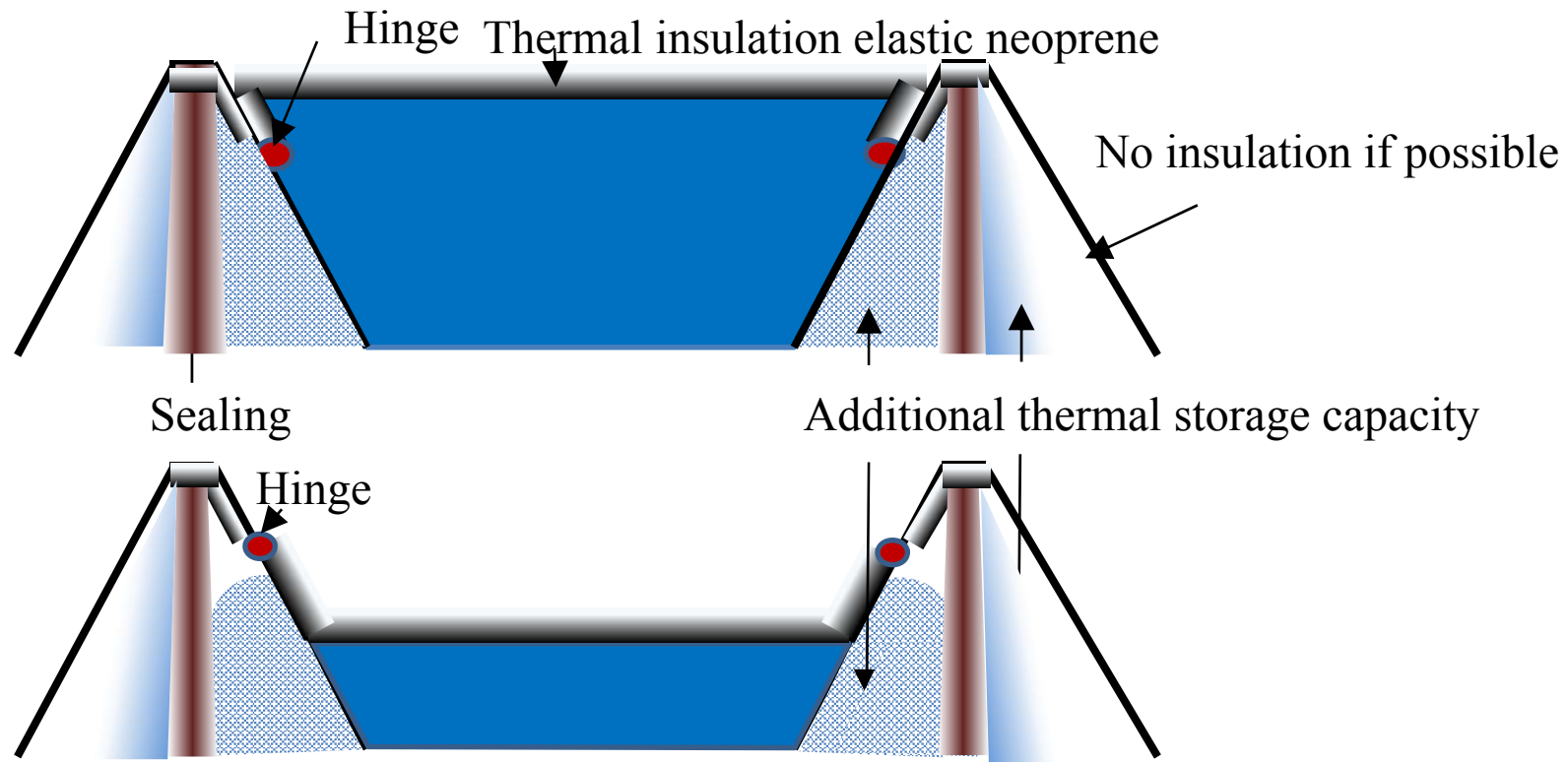
Energiespeicher



Quelle: Sterner, Stadler, 2014 - bearbeitet

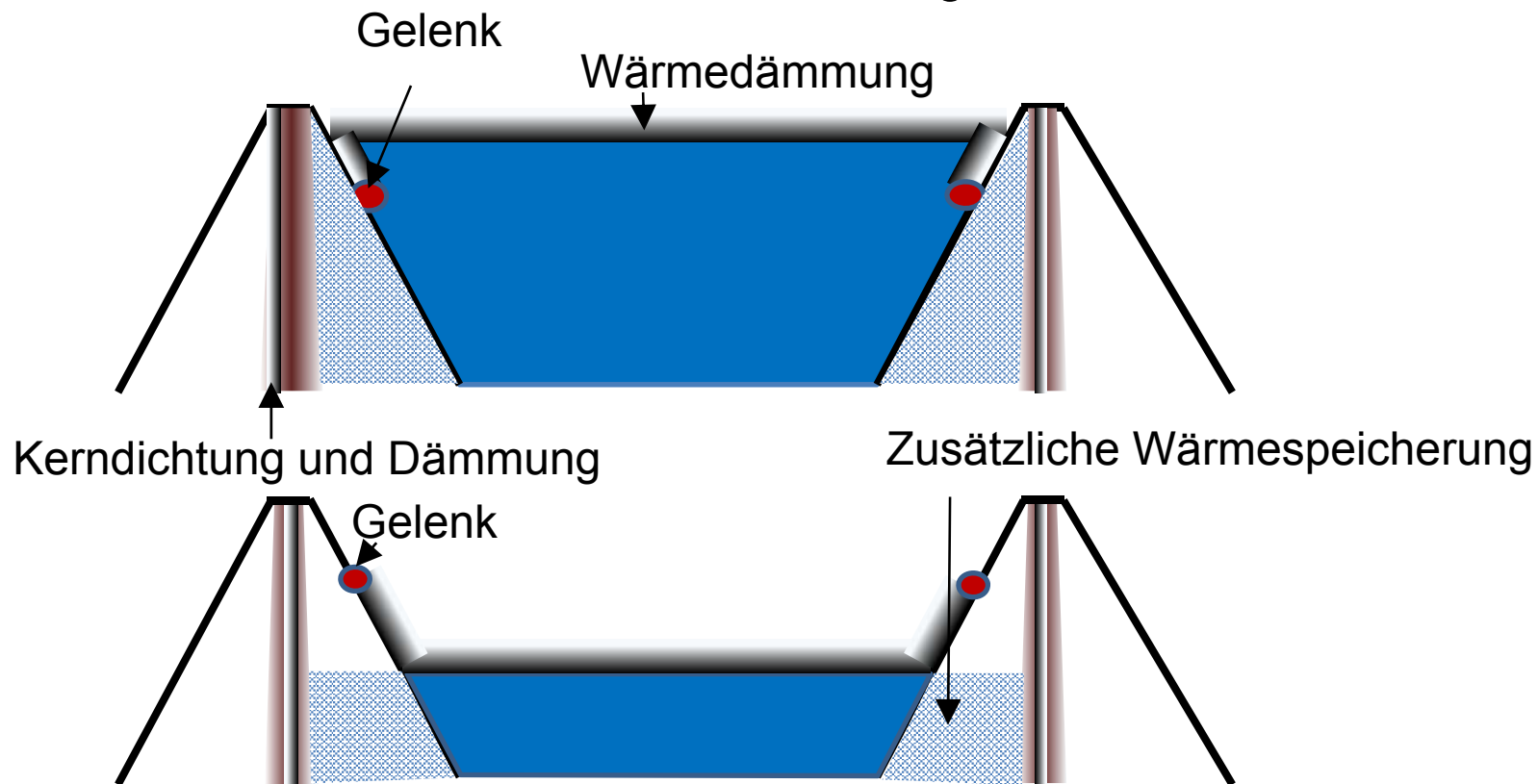
PSH+HS – Reservoir insulation – artificial ringwall dams Possible idea of insulation with high quality neoprene

Limited draw down velocity – for week to monthly storage PSH



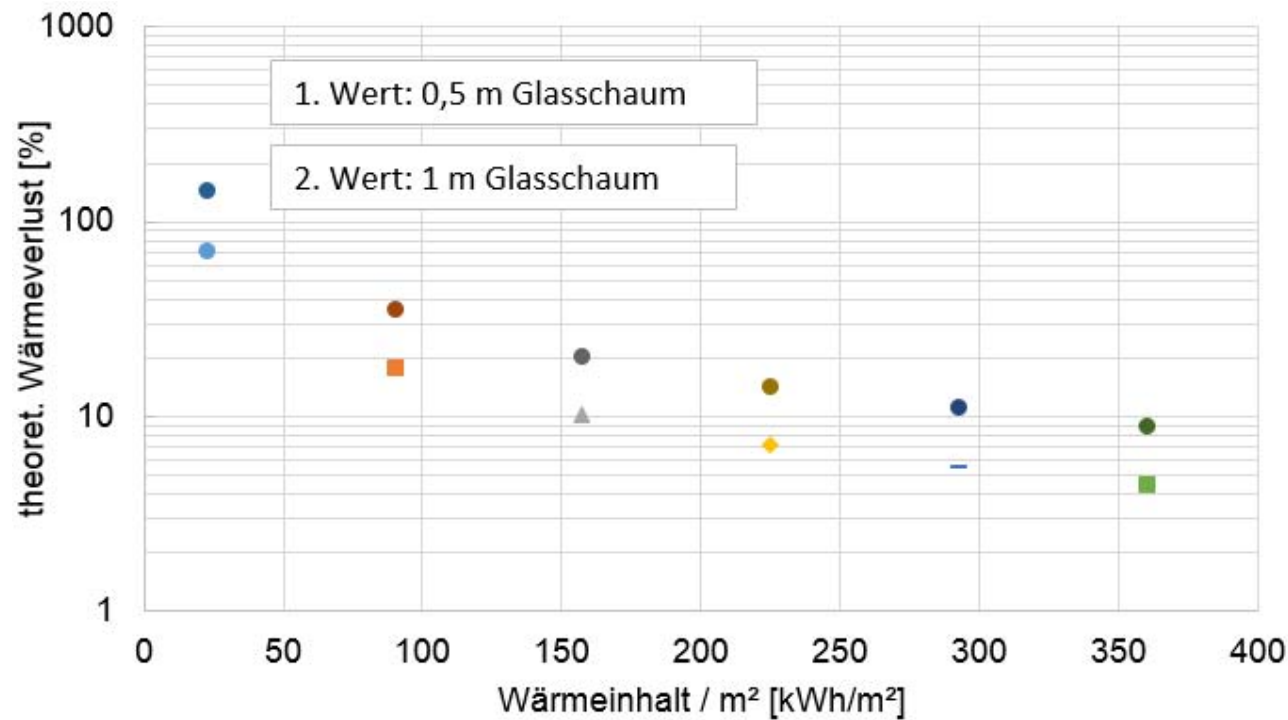
PSH+HS – Reservoir insulation – artificial ringwall dams
 Possible idea of insulation with high quality neoprene

Forschungsbedarf!



Dämmungseffizients durhc Recycling Material Glasschaum

$\lambda = 0,08$ [-], $f_{cNenn} 620$ [kPa], Beispiel 70° Wasser 120 Tage



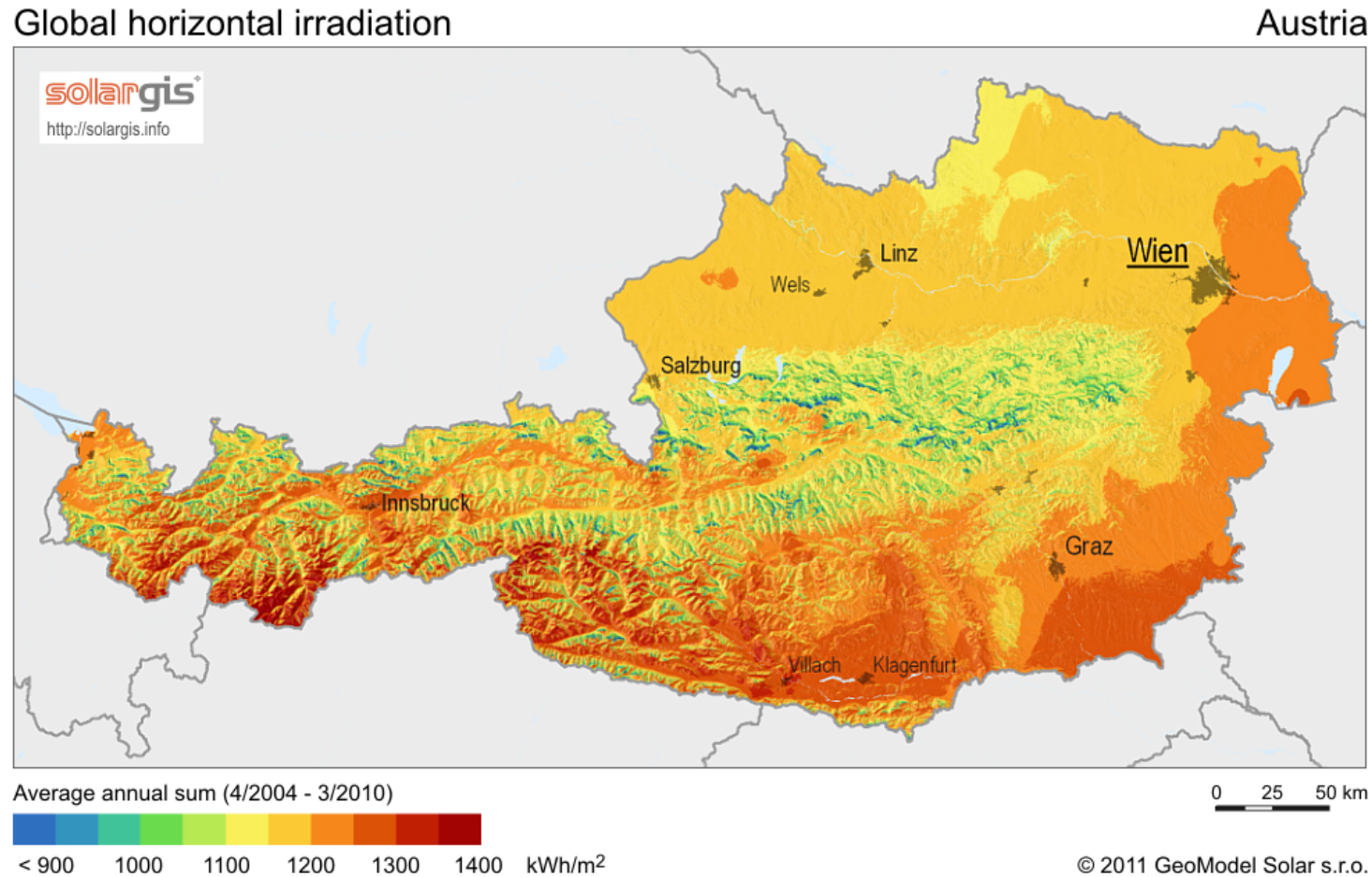
- Oberfl. / Vol. 4 [m-1] ■ Oberfl. / Vol. 1 [m-1] ▲ Oberfl. / Vol. 1 [m-1]
- Oberfl. / Vol. 0.4 [m-1] ● Oberfl. / Vol. 0.31 [m-1] ■ Oberfl. / Vol. 0.25 [m-1]

Case study - city of Graz

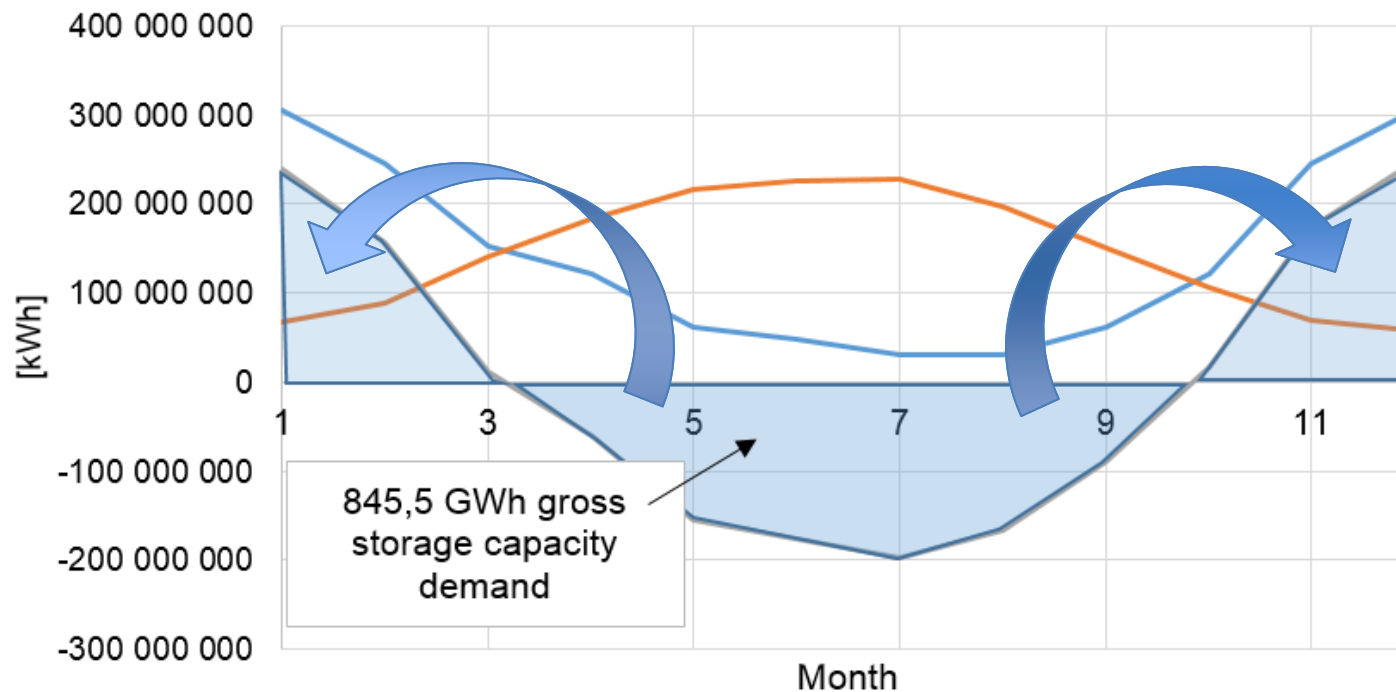
- 28% der Dachflächen geeignet für Solarthermie (3.92 Mill.m²) – 1400 GWh/a
- 3.9 mal mehr als PV auf 30% der Dachflächen!
- Fernwärme Graz 950 GWh /a, 360 km Leitungen
 - 58000 beheizte Wohnungen
 - Energieträger: Kohle, Öl, Gas - KWK
 - Etwa 570 000 t CO₂/a (Strom und Wärme)

- Theor. Gesamtbedarf Solarthermie 5,2 mio m² Kollektorfläche
- Ansatz Gesamtkosten: (4500€ /10m²) = 2,34 Mrd€
- Wie groß müsste in etwa ein idealer 90° Wasserspeicher sein um den gesamten Wärmebedarf für den Winter zu speichern?

Mittlere Sonnen-Einstrahlungsenergie/a in Österreich

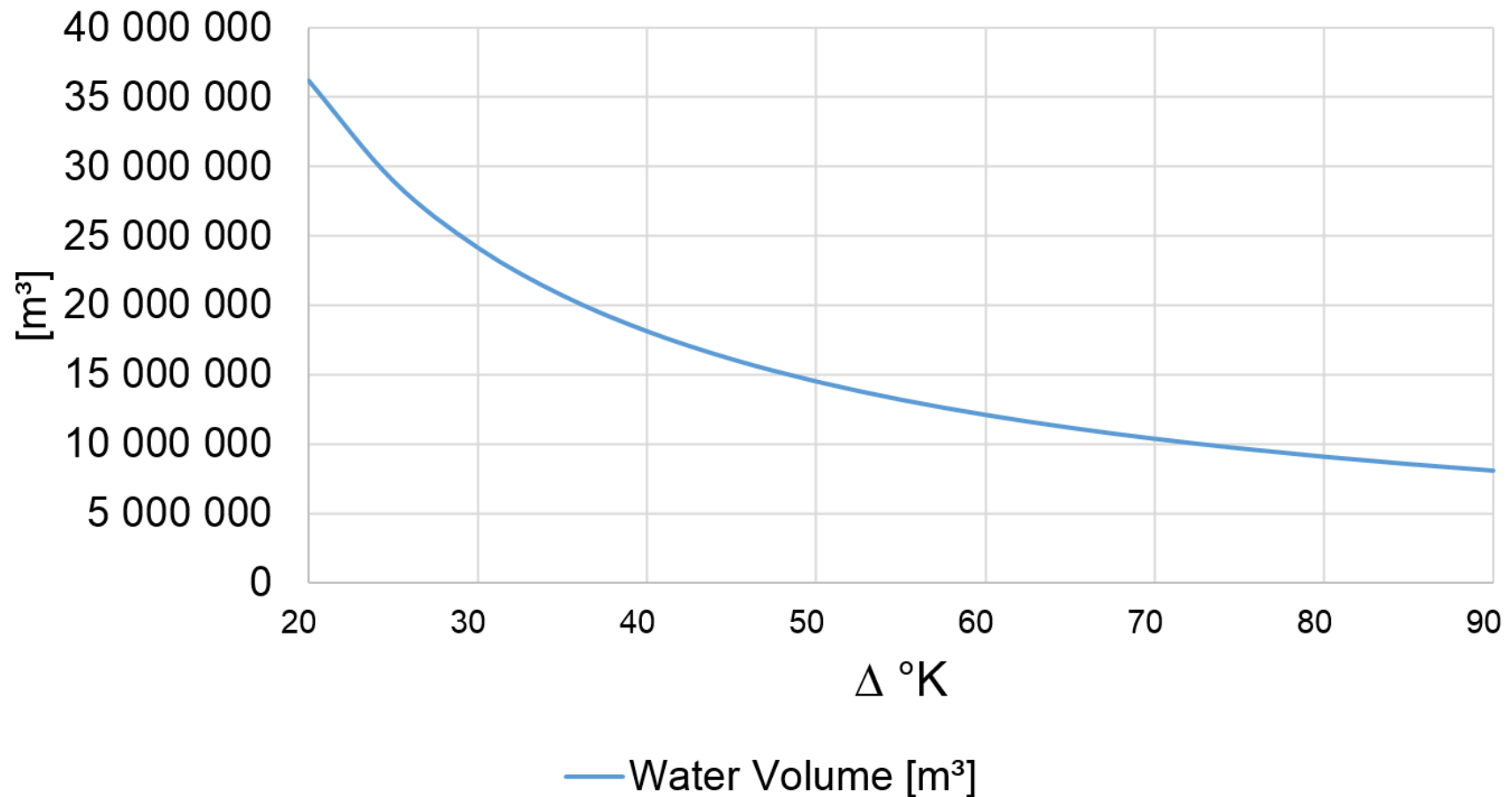


Estimation of Heat energy demand and thermal solar production on 5 240 000 m² roof solar heat panels (efficiency 30%) city with 265 000 citizens at 45° latitude



- Heat energy demand [kWh]
- Net Solar thermal production on 5 240 000 m²
- Difference inbetween thermal solar production and demand [kWh]

Erforderliche Wassermenge für Speicherung von 845 GWh Wärmeenergie



Eigenschaften des PSH + Heat Storage -1-

1. Speicherung von Strom und Wärme
2. Unabhängige Strom- und Wärmebewirtschaftung
3. Nutzung der Vorteile der elektr. Speicherung des PSKW (PHS, PSH, PSW, PSP,...)
 - a) Hohe Effizienz ~ 80%
 - b) Flexibler Einsatz
 - c) Netzdienstleistungen
 - d) Sehr geringer CO₂ equ Einsatz / kWh
 - e) Zyklenstabilität
 - f) Lange Lebensdauer
4. Kopplung mit Fernwärmenetz
5. Transferierung der Sommerwärme in den Winter
6. Große Wassermasse erlaubt bei ausreichender Sonnen-energieinstallation die Substitution einer fossilen Fernwärmeversorgung

Eigenschaften des PSH + Heat Storage -2-

7. Abnahme von Industrieabwärme
8. Kühlleistungskapazität im Sommer
9. Große Kapazität
 - g) für negative Regelleistung
 - h) für Power to Heat
 - i) Wärmespeicherung
10. Aufnahme von Wärme aus Solarthermie
 - g) Wärmetauscher und Wärmepumpen
11. Aufteilung von Sonne auf PV und Thermie – Leistungsaufteilung in E-Netz und Fernwärme – Verminderung Gleichzeitigkeitsfaktor der PV Einspeisung
12. Geschlossener PSKW Kreislauf
 - g) Keine Fließgewässerbeeinflussung
 - h) Geringe Ökologische Auswirkungen

Vorteile des PSH + Heat Storage -3-

13. Über Wärmepipeline auch in regionaler Entfernung von Ballungsräumen
14. Als Tiefenspeicher möglich
15. Mögliche Mitwirkung des Gebirges als Wärmespeicher (ausser in Zonen von Bergwasser und Grundwasserströmen)
16. Hydraulische Verluste werden in Form von Wärme in die kombinierte Technologie transferiert
17. Dekarbonisierte Speicherung (im Betrieb) - COP 21 kompatibel
18. Strategische Energiesicherheit
19. Sehr geringe variable Kosten
20. Bei Kavernenspeicher – kein Land- und Bodenverbrauch
21. Integration in Smart City- System

Herausforderungen

- Isolationstechnik der Speicher
- Wirtschaftliche Minimierung der thermischen Verluste
- Investitionen
- Doppelt transiente Maschinenbelastung
 - Dynamische Auslegung aller Anlagenteile
- Finanzierungs- und Betriebsmodelle
 - Landesversorger
 - Stadtversorger
 - Genossenschaften
 - ...
- Politische Prozesse

References:

- Koritarov, Guo, Ela, Trouille, Feltes, Reed “Modeling and Simulation of Advanced Pumped Storage Hydropower Technologies and their Contributions to the Power System“ 2014
- Octavio Torres “ Life cycle assessment of a pumped storage power plant “, Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering 2011
- Majeau-Bettez, Hawkins, Strømman “ Life Cycle Environmental Assessment of Lithium Ion and Nickel Metal Hydride Batteries for Plug in Hybrid and Battery electric Vehicles “, Journal of Environmental Science & Technology, 2011
- Zackrisson, Avellán, Orlenius, “Life cycle assessment of lithium-ion batteries for plug-in hybrid electric vehicles – Critical issues “Journal of Cleaner Production 18 (2010) 1519-1529
- Koch “Datensammlung über Österreichische Hochdruckwasserkraftanlagen “ Bachelorarbeit TU Graz, 2013
- Richter, Zenz, Schneider; Knoblauch “ Surge tanks for high head hydropower plants – Hydraulic layout – New developments“ Geomechanics and Tunneling 2015
- Sternberg, Bardow, “Power-to-What? – Environmental assessment of energy storage systems “ Journal of Energy & Environmental Science, 2015
- Global Energy Storage Database (http://www.energystorageexchange.org/projects/data_visualization)
- Grazer Solardachkataster 2013
http://www.geoportal.graz.at/cms/dokumente/10189544_4515617/2fa6d060/SOLAR_INFO_aktuell.pdf
- Faninger “The Potential of Solar Thermal Technologies in a Sustainable Energy Future“IEA Solar Heating & Cooling Program, 2010
- <http://dutch-ates.com/>
- Calje “ Future use of Aquifer thermal energy storage below the historic centre of Amsterdam “ Master thesis TU Delft 2009

Vielen Dank



gp