



TEKNOLOGISK
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK
INSTITUT

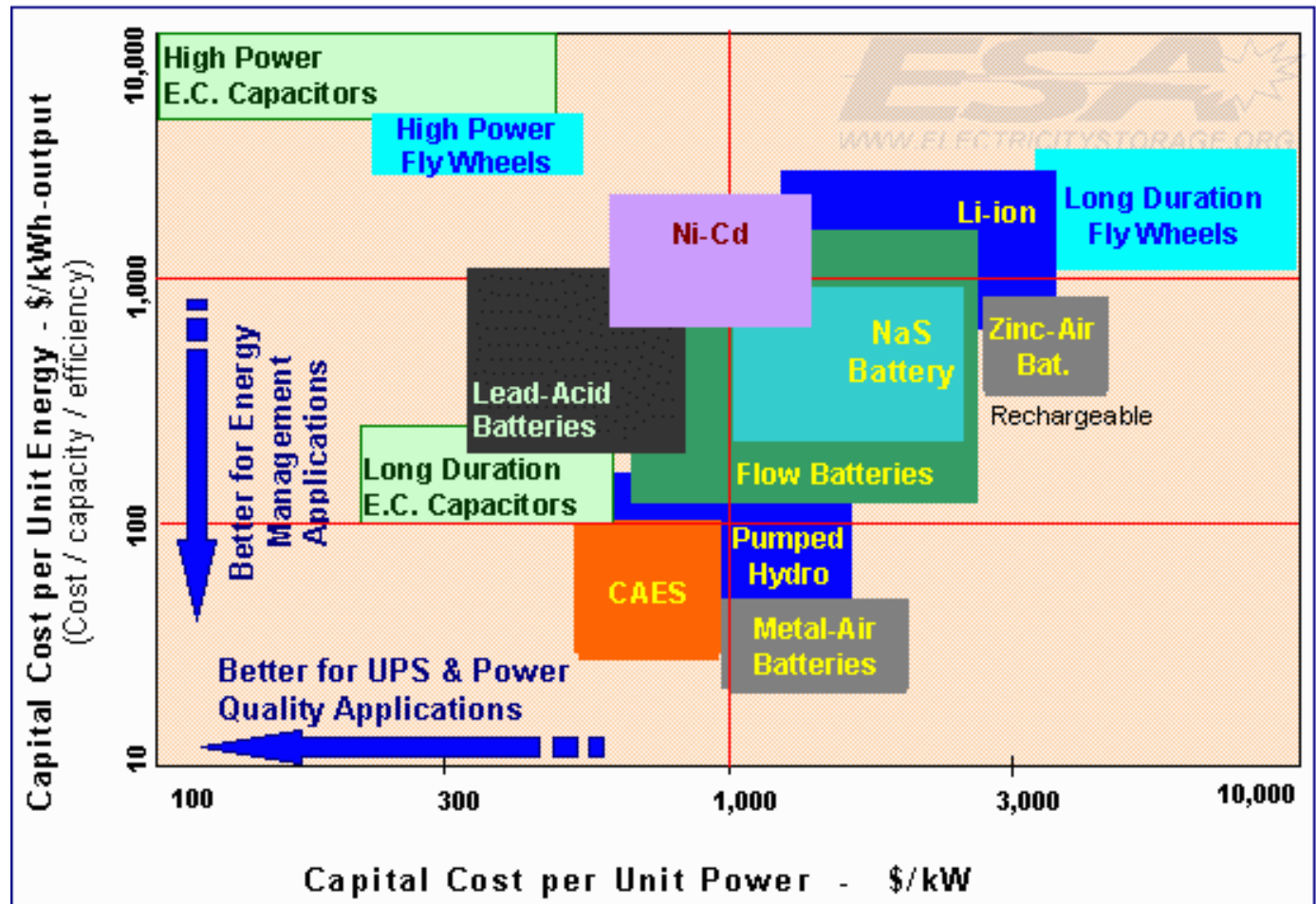
Termisk energilagring i metaller

Lars Reinholdt

1. december 2015



Lagerteknologier (el til el) pris og effektivitet



↑
Pris per kWh*

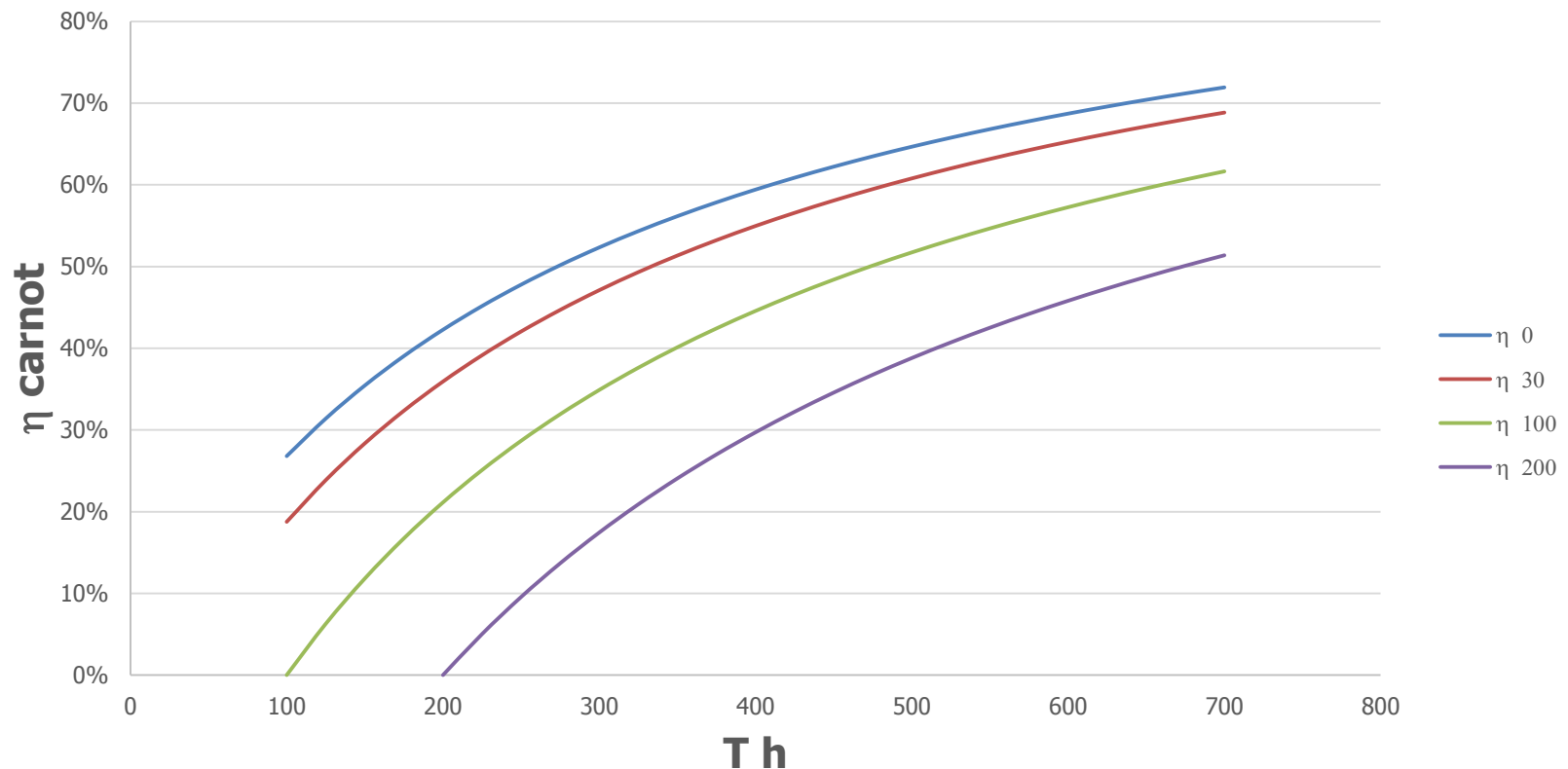
→ Pris per kW

Virkningsgrad af termiske lagre

- Teoretisk maksimum (Carnot)

$$\eta = 1 - T_C/T_H$$

T skal være i K

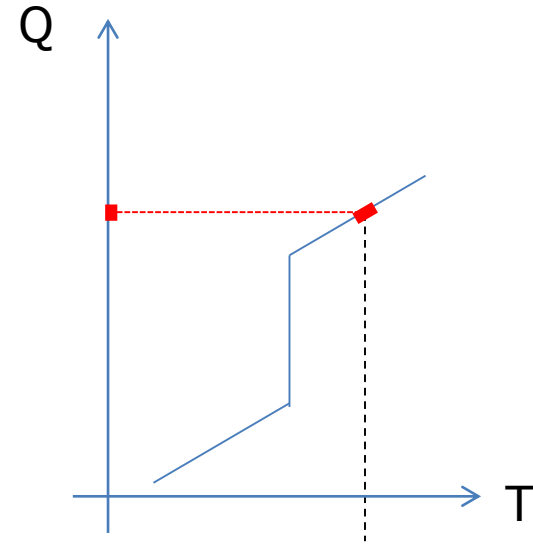
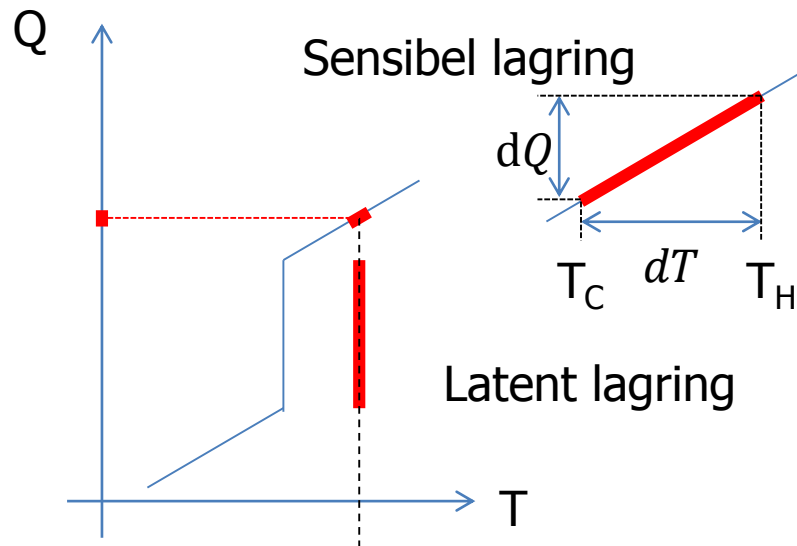


Lagring af elektricitet som varme

Hvorfor lagre elektricitet som varme ved høj temperatur?

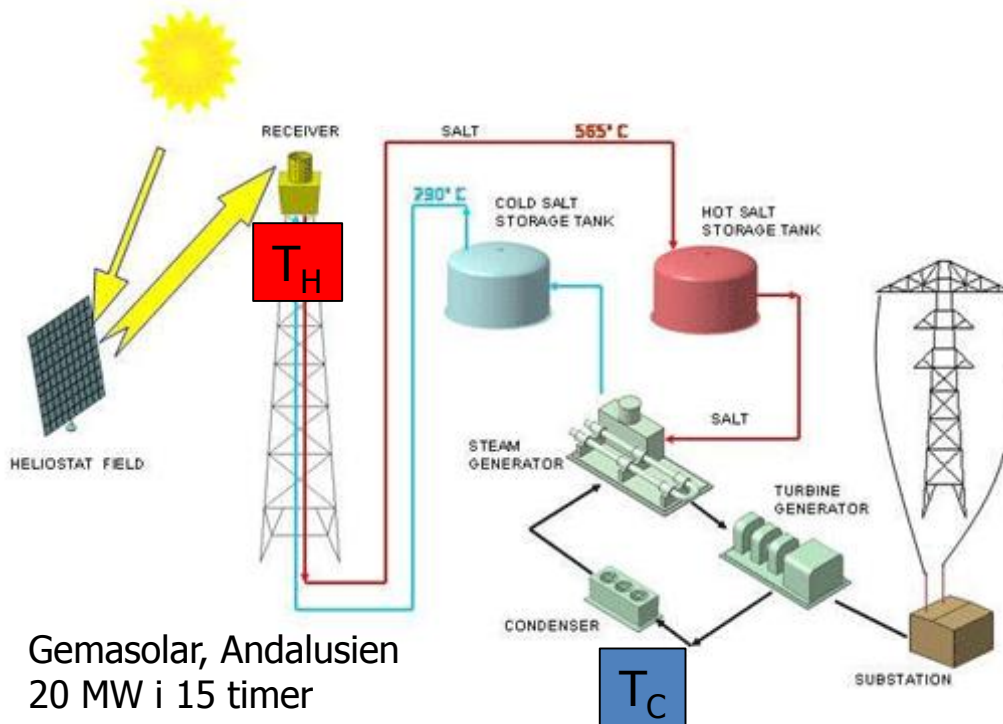
1. El kan omsættes til varme (lagres) med 100% virkningsgrad uafhængigt af temperaturniveau
2. Høj temperatur kan give elektricitet med acceptabel effektivitet ($\eta = 1 - T_C/T_H$)
3. Temperaturer karakteristiske for damp-turbiner:
Lageret i samspil med eksisterende kraftvarmeanlæg (bedre forrentning af anlægsinvestering).
4. Højere virkningsgrad kan opnås ved også at producere fjernvarme (fx ifm. ovenstående dampturbine).
5. Højtemperaturprocesser vil også være nødvendige i fremtidens energisystem

Sensibel / latent lagring



Højtemperaturlagring i dag

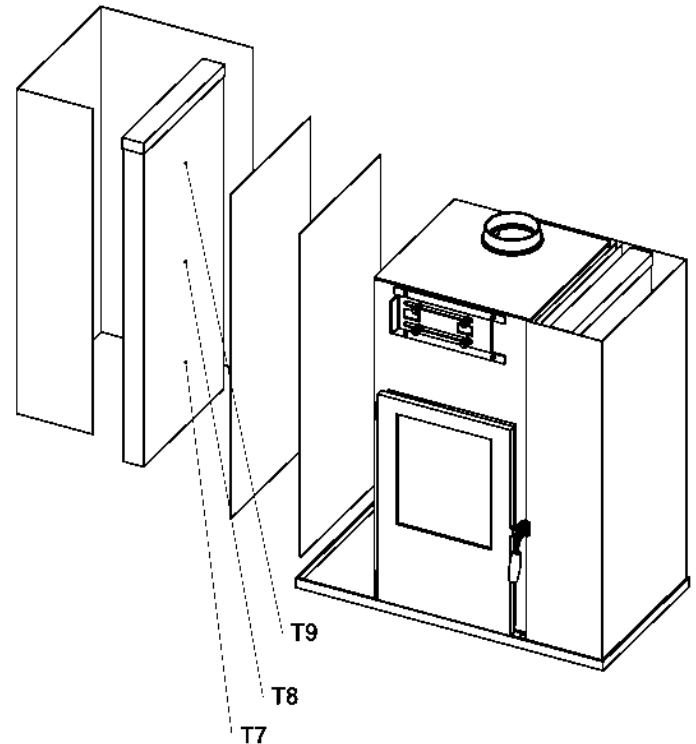
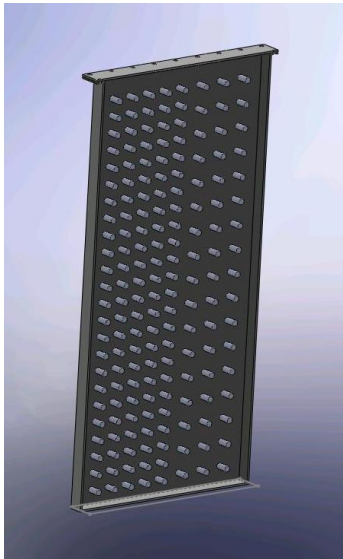
- Behov for lagring især inden for solvarme (CSP)
- **Sensibel** lagring – lagring ved temperaturændring i lagringsmediet - er mest udbredt, også i stor skala



Gemasolar, Andalusien
20 MW i 15 timer

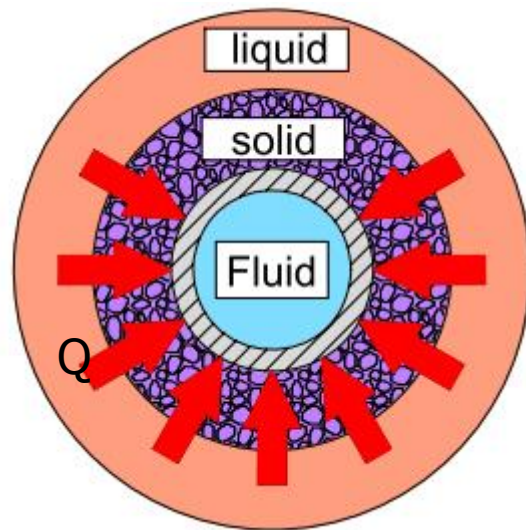
Brændeovn med salhydratlager – slow heat release

- Udfordringer
 - Lav varmeledningsevne
 - Processen er ikke fuld reversibel
 - Termisk ekspansion
 - Underafkøling



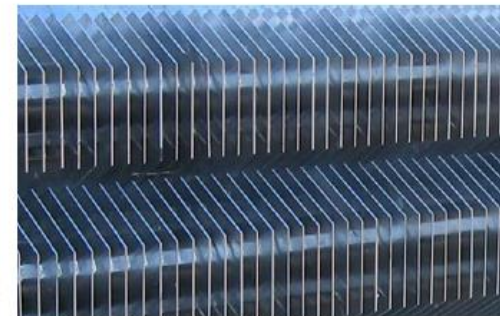
Latent lagring i salte ved høj temperatur

- Ringe termisk ledningsevne



Afladning af PCM

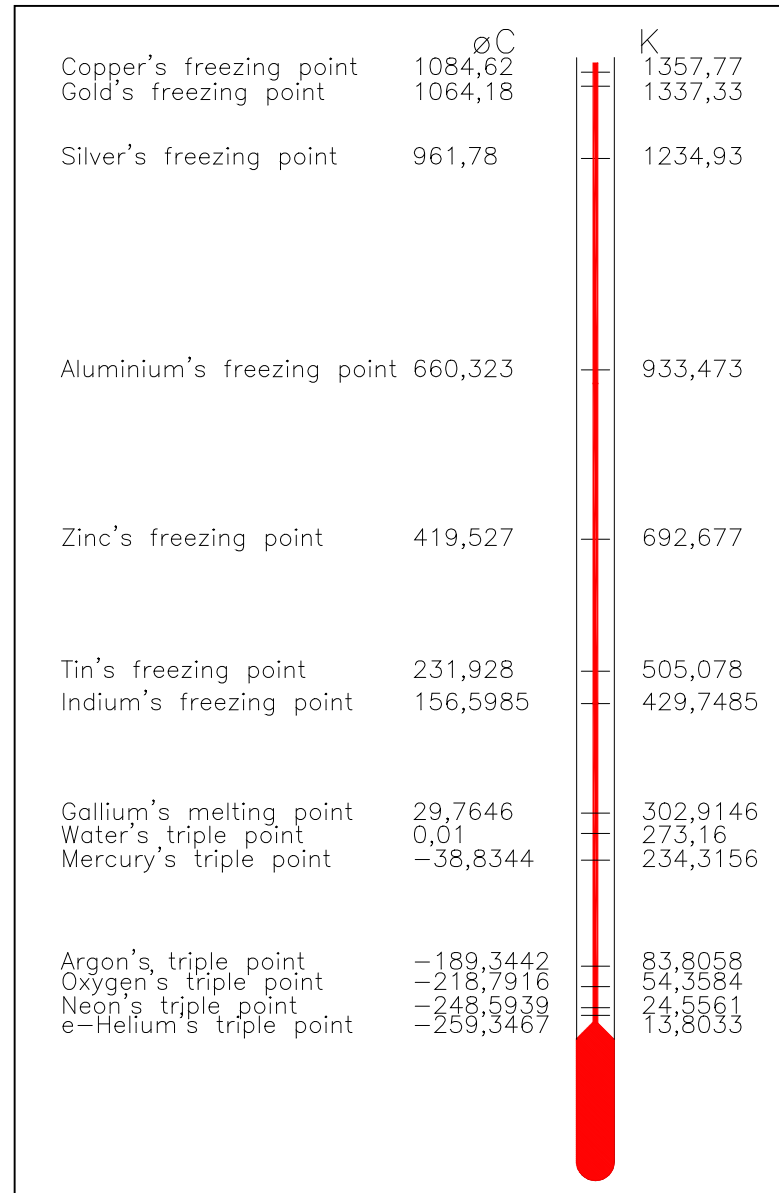
PCM: NaNO_3 , 83.3kWh/m³
kapacitet: 8.5 kWh
 $T_m=300\text{ }^\circ\text{C}$
 $\lambda=0.5\text{ W/m/K}$



Kandidater



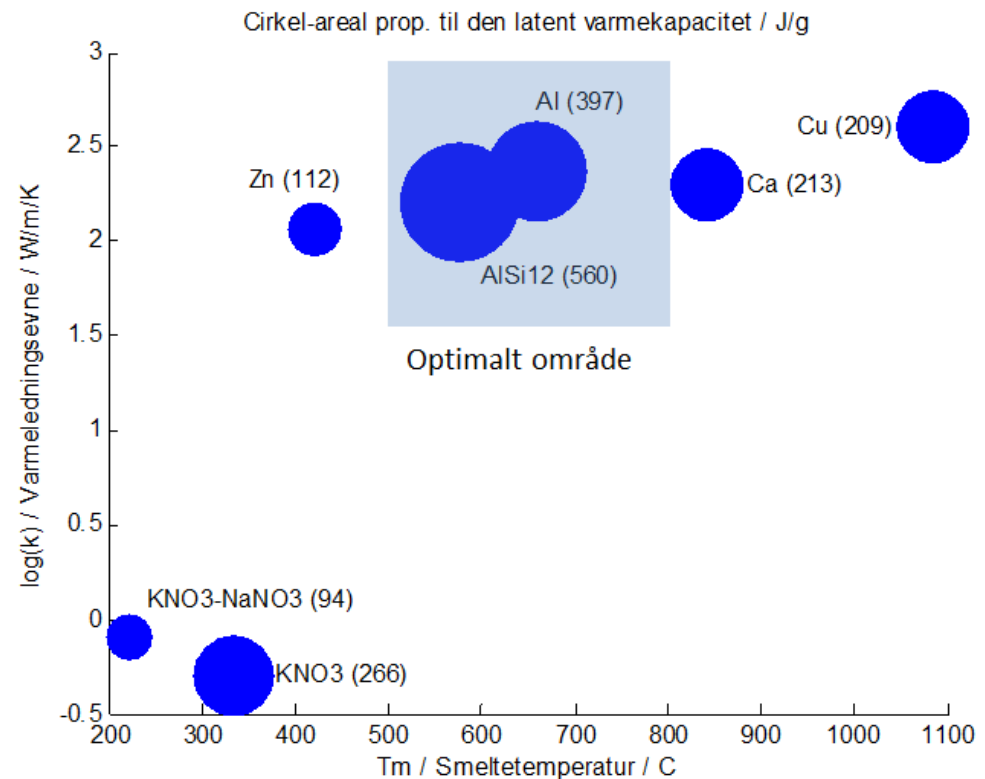
TEKNOLOGISK
INSTITUT



Saltbad ved høje temperaturer

M-PCM: Metaller som PCM

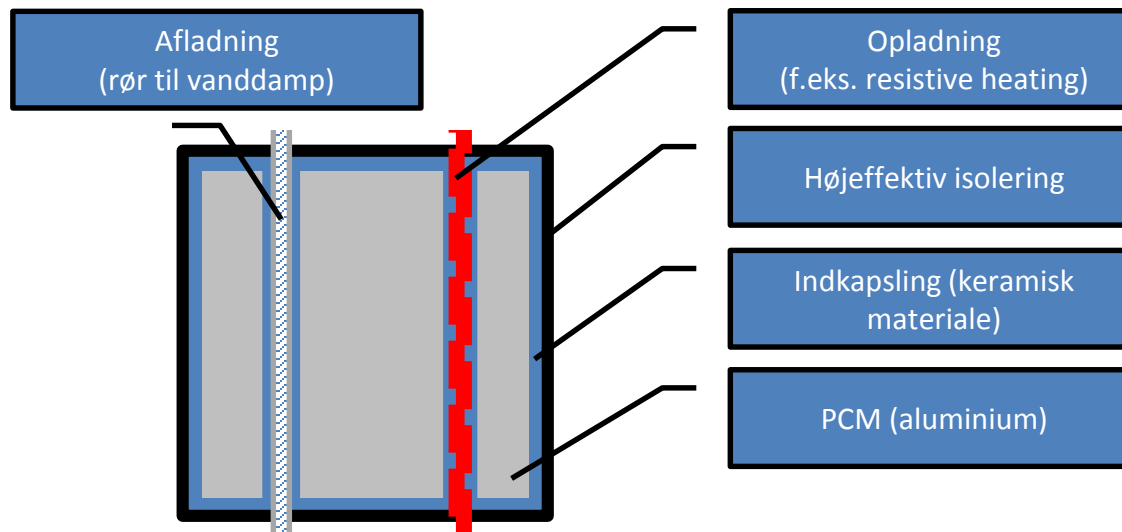
PCM	T_m [C]	L_{fus} [kJ/kg]	K [W/K/m]	Cost per unit energy [US\$/kWh]
KNO_3 - $NaNO_3$	222	94	0,8	
KNO_3	333	266	0,5	
Zn	420	112	116	66
AlSi ₁₂	576	560	160	
Al	660	397	237	19
Ca	842	213	201	
Cu	1085	209	401	135
Pb	327	23	35	362



Varmelager baseret på et metal

Metaller sammenlignet med salte:

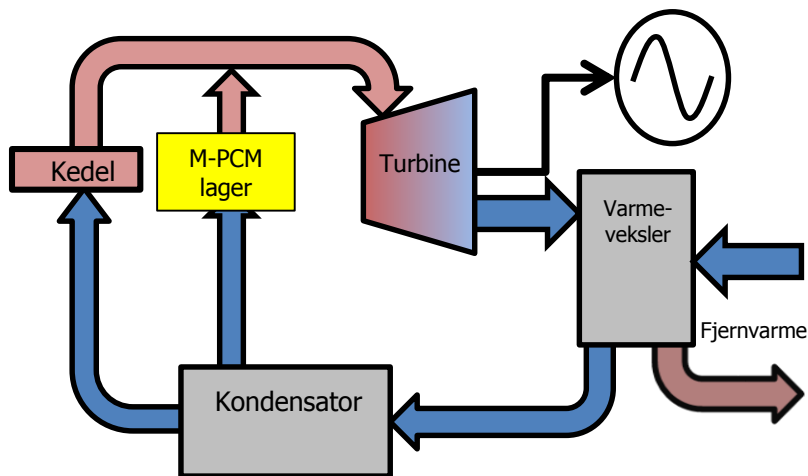
- Varmeledningsevne >100 gange højere end salt
 - Simpelt design for varmeveksler
- Varmekapacitet relative høj
 - ... men det er vægten typisk også
- Stabilitet
 - kongruent smeltning (konstant smeltetemperatur)
 - ingen underafkøling
 - lav termisk ekspansion



Anvendelse af varmelagret

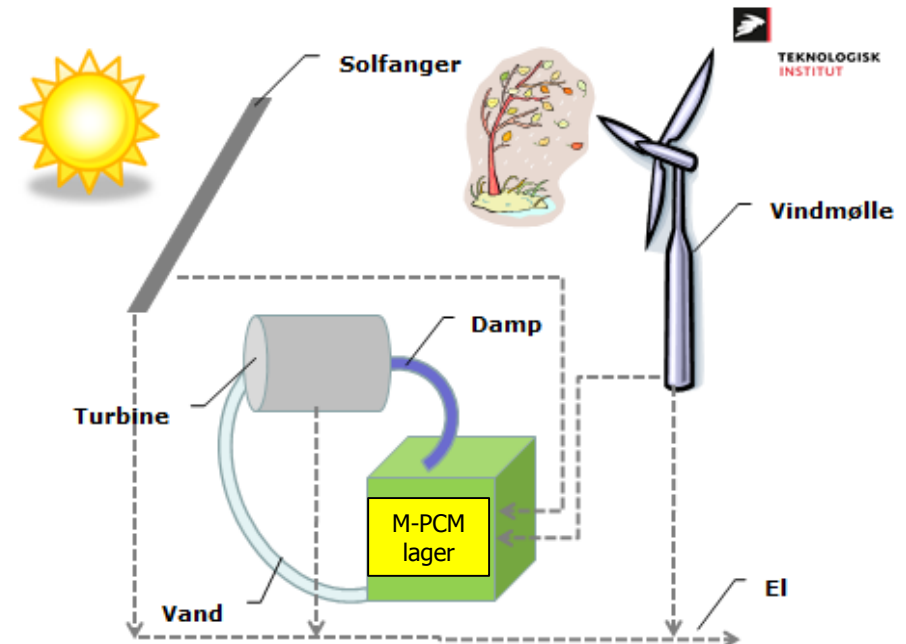
- Load shifting – *forskydning af elektricitetsudbud*

Afladning ved uønsket fald i produktion



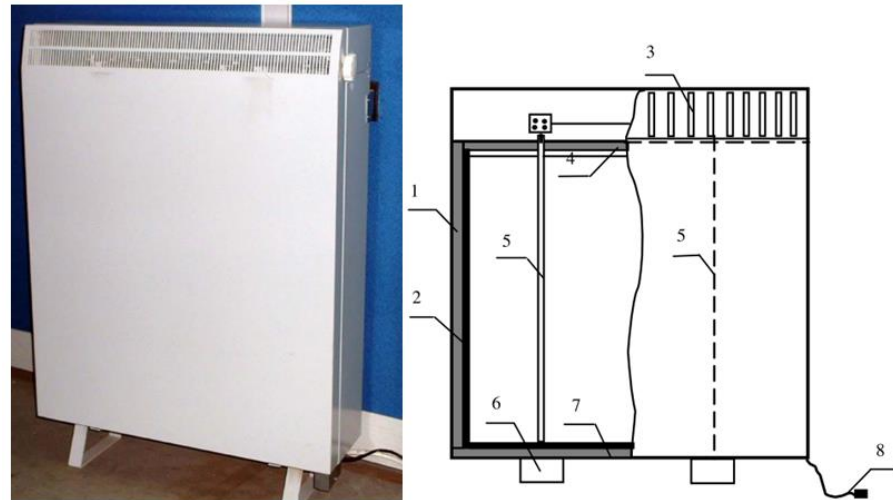
- Bulk power management – *sæsonlagring af vedvarende energi*

Opladning af M-PCM vha. vedvarende energikilder



Varmelagring i metallers faseskift

- Meget få studier/projekter omhandler lagring af varme i metallers faseskift



Radiator til opvarmning af beboelse – varme frigøres ved konvektion

Aluminium som M-PCM



TEKNOLOGISK
INSTITUT

- Høj temperatur ved faseskift (aluminium smelter ved 660 °C)
 - Termodynamisk mere effektiv ved tilbagekonvertering
 - Ideel til elproduktion Stabilitet
 - kongruent smeltning, ingen underafkøling, lav termisk ekspansion
- Meget høj varmeledningsevne
- Relativt billig (15kr/kg, svinger dog meget) måske kan Al-skrot bruges
- Stor erfaring med håndtering
- Energiindhold: 0,107 kWh/kg / 300 kWh/m³
- ~300 dkk/kWh (lager 7.4 m³ / 20 ton / 2.2 MWh)
- El>el effektivitet 40-50% + evt. fjernvarme
- Levetid: > 1.000 cykler ok
- Al stadig intakt ved skrotning



Smeltedigel med smeltet aluminium. Røret ned i metallet indeholder en Pt100-føler.



Gasfuret aluminium-smelteovn.



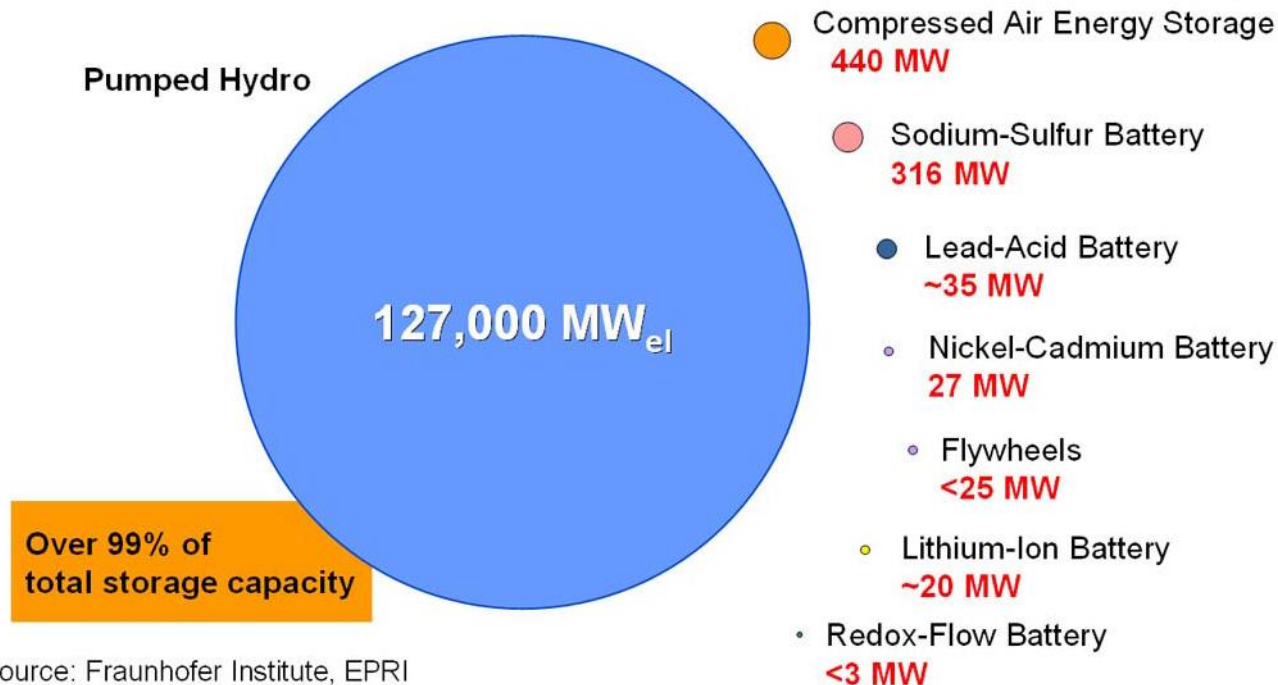
Ødelagt smeltedigel, materialet er grafitholdigt.



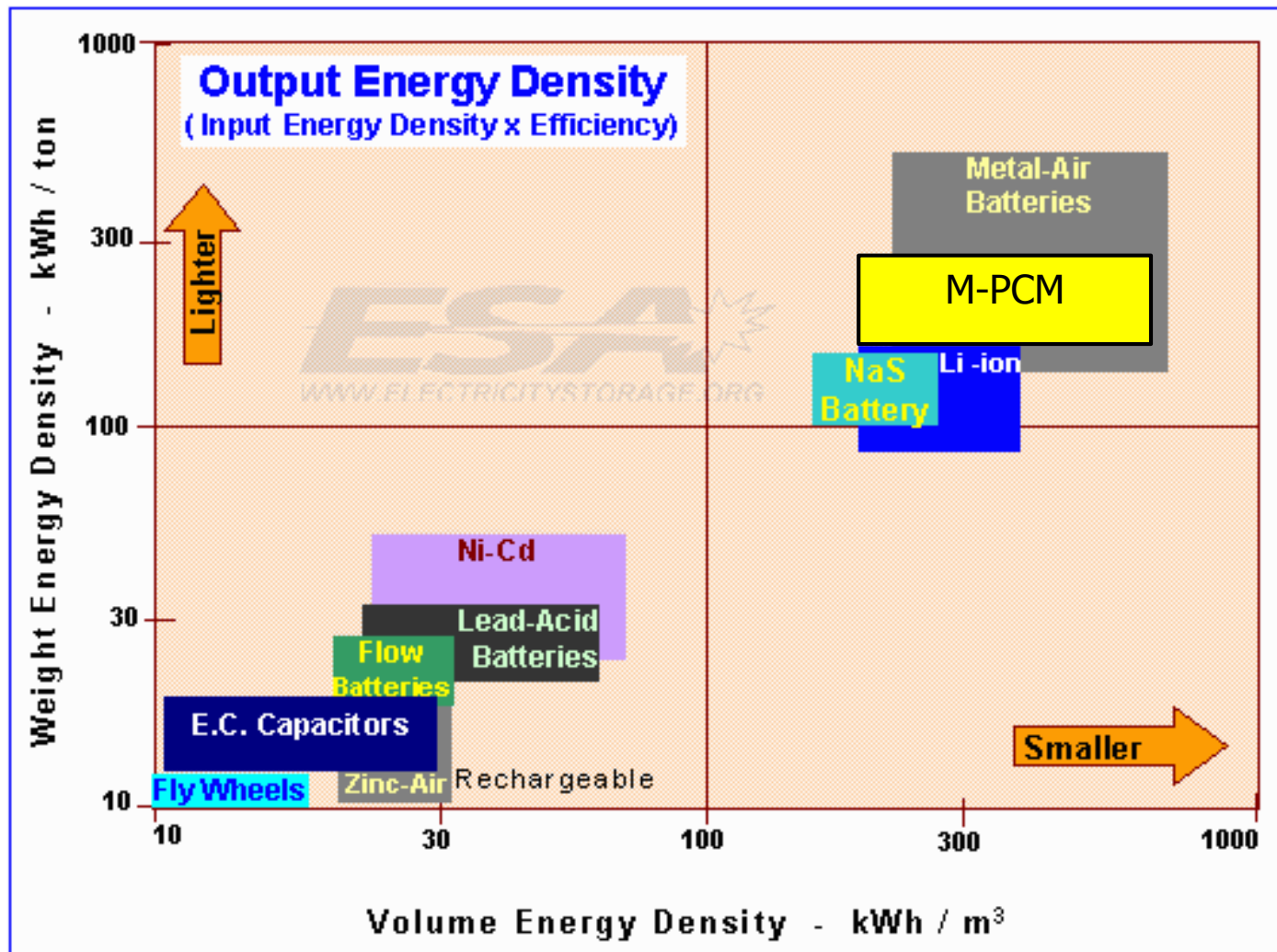
Til kabelføring, er modstandsdygtig overfor smeltet aluminium.

Eksisterende teknologier

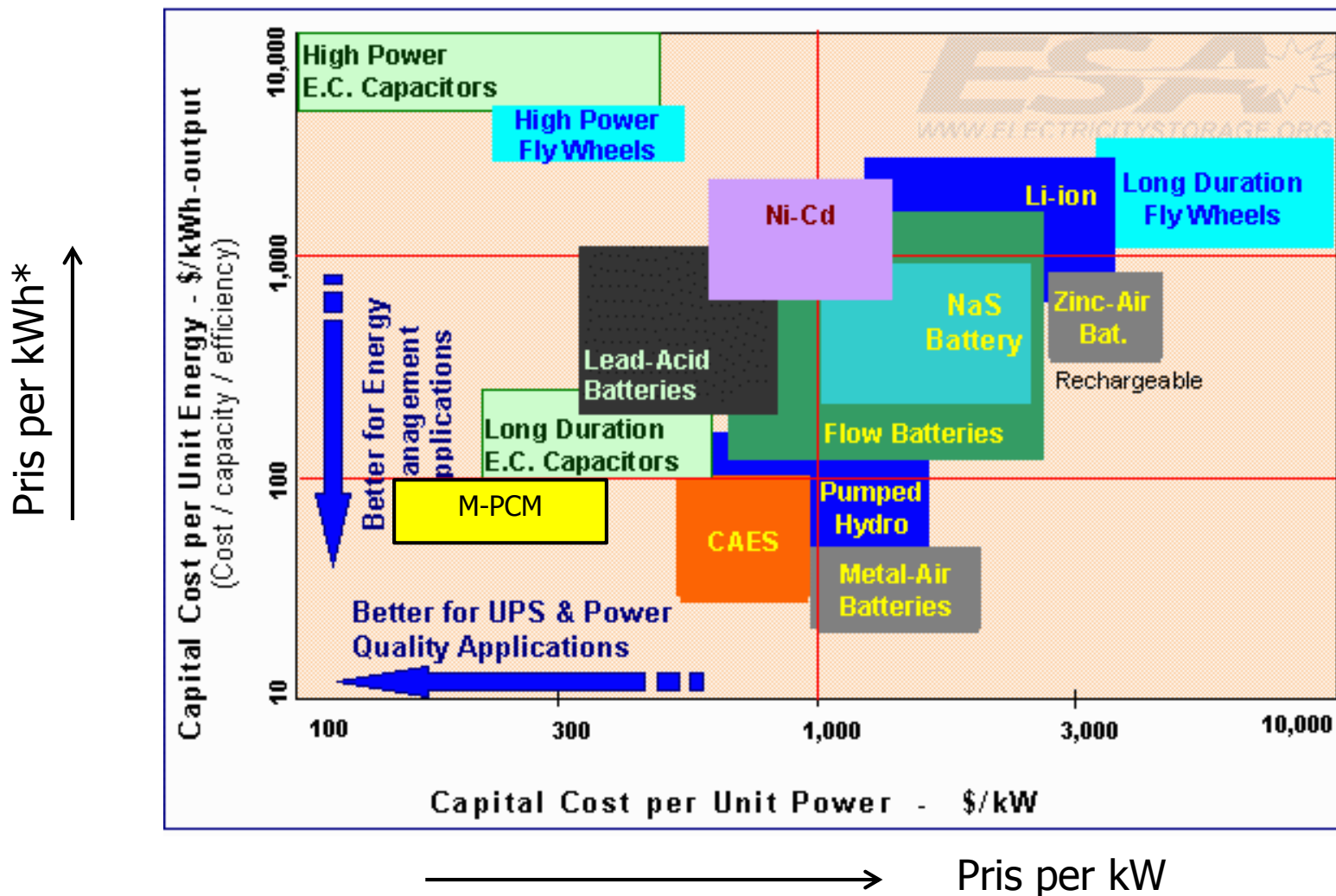
Worldwide installed storage capacity for electrical energy



Energidensitet – sammenligning



Lagerets pris og effektivitet - sammenligning



Anvendelse

- High-temperature electrolysis (500-1000 °C), fx:
 - SOEC, elektricitet → brint (Solid oxide electrolyser cell)
- High-temperature fuel cells, fx.:
 - SOFC, brint → elektricitet (solid oxide fuel cell)
- Damp turbine / ORC
- Concentrated solar power (CSP)
- Udbalancering af udsving i brændselskvalitet (især affaldsforbrænding)
- Kogepeak
- Diverse industrielle processer hvor høj temperatur er krævet (fx bagning, vaskerier, autoklaving, tørreprocesser, raffinering)



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Mange tak

Lars Reinholdt

Faglig leder

Køle og varmepumpeteknik

Aarhus

E-mail: lre@teknologisk.dk

Tlf: 7220 1270