

# Thermische Speicher für Solarthermische Kraftwerke: Übersicht und aktuelle Projekte

Roland Hoff, SAP AG

**Vielen Dank für die sehr freundliche Unterstützung, die interessanten Diskussionen und das Zusenden von Informationsmaterialien an:**

- Doerte Laing (DLR, Abteilungsleiterin und Leiterin Fachgebiet Thermische Energiespeicher)
- Klaus Hennecke (DLR, Leiter der Abteilung Linienfokussierende Systeme)
- Lars Schnatbaum (Solar Millennium AG, Leiter der Abteilung Solar-Tower, Plant Integration)
- Dr. Henner Gladen (Solar Millennium AG)
- Dr. Rainer Saliger (Siemens AG, Energy Sector, Innovationsmanager)

Arbeitskreis Energie der DPG

Bad Honnef, 21.10.2011

# Gliederung

- Einleitung
- Übersicht der verschiedenen Speicher-Konzepte
- Details
  - **Indirekter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher → aktuelle Projekte**
    - Kalifornien: Spitzenlast, Photovoltaik und Solar Thermische KW mit Speicher
  - **Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher (für Parabolrinne) → aktuelle Projekte**
  - **Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher (für Solar-Turm) → aktuelles Projekt**
- Zusammenfassender Vergleich der wichtigsten Speicherkenngrößen und Kosten
- Anhang:
  - Bedarf an Speicherfähigkeit
  - Details zur Kostenaufteilung beim direkten Zwei-Tank Speichers
  - Latentwärme-Speicher → „Phase Change Materials“ (PCM)
  - Details zum Solar Turm Projekt Gemasolar mit Flüssigsalz-Speicherung
  - Kenngrößen und Preise relevanter Materialien
  - Direkter Beton-Öl Speicher (Thermocline)
  - Indirekter Ein-Tank Flüssig-Salz Speicher (Thermocline)
  - Sand-Luft Speicher (für Solar-Turm)
  - Verbleibende Last bei unterschiedlichen PV-Kapazitäten (Beispiel: Der Westen Nordamerika's)
  - **Quellenangaben**

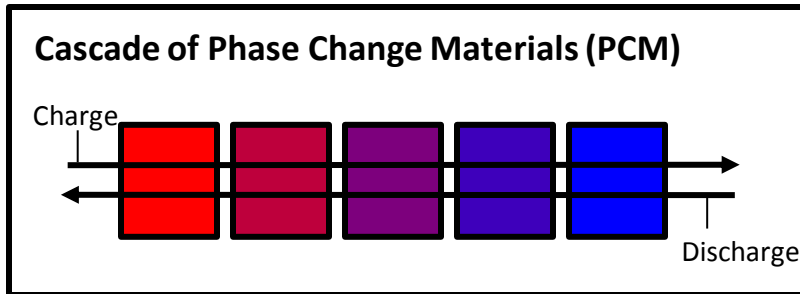
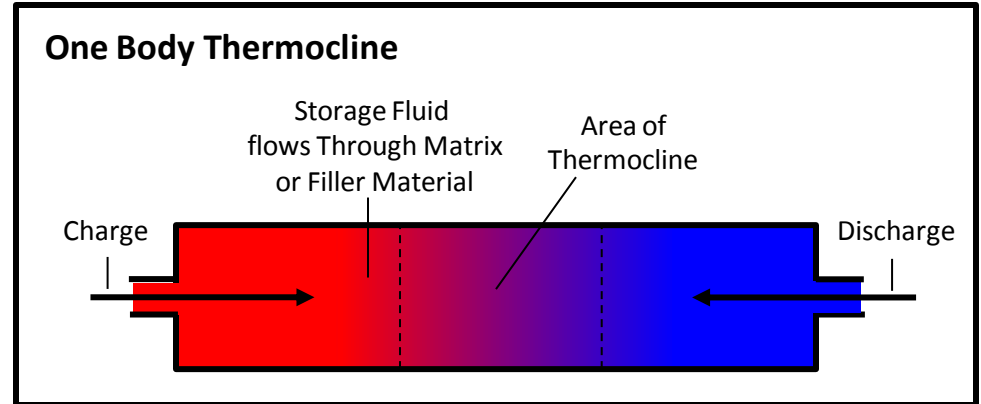
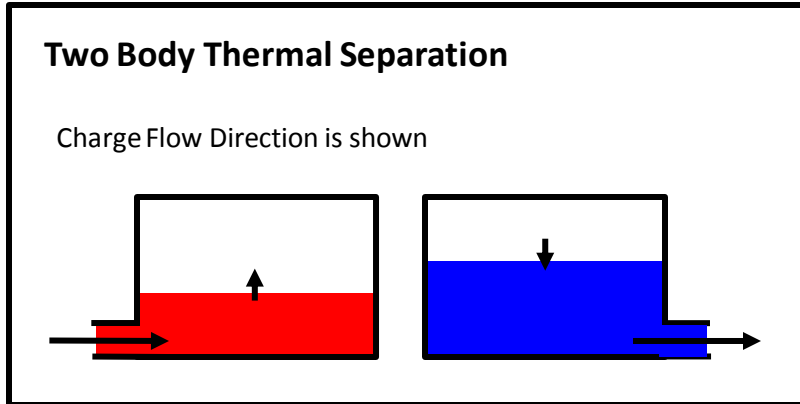
# Einführung

**Aus der Energiestudie 2010 des AKE:**

„Gleichberechtigt mit direkter Speicherung regenerativ erzeugter fluktuierender elektrischer Energie sind Lösungen, bei denen auf der Erzeugerseite eine Vergleichmäßigung der Stromproduktion erreicht wird.“

**→ Beispiel: Thermische Speicher für Solarthermische Kraftwerke.**

# Thermal Energy Storage (TES) Concepts



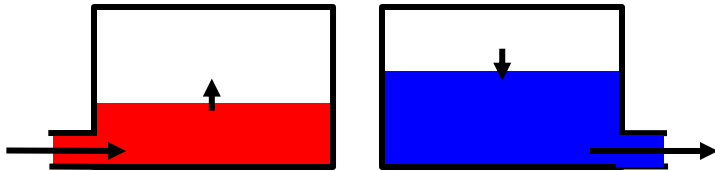
## Application Matrix:

Load Type	Two Body Thermal Separation	One Body Thermocline	Cascade of PCM
Indirect Load		<b>Geringere Kosten aber Effizienzverluste</b>	
Direct Load	<b>Optimale exergetische Nutzung = optimale Effizienz</b>		

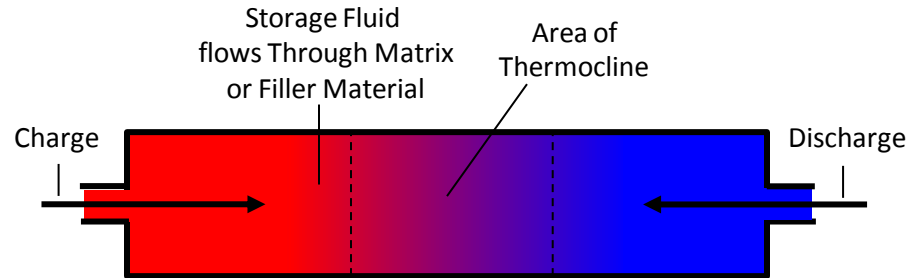
# Thermal Energy Storage (TES) Concepts

## Two Body Thermal Separation

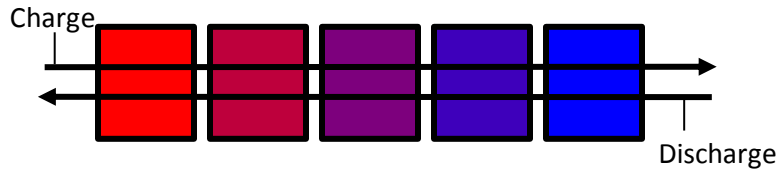
Charge Flow Direction is shown



## One Body Thermocline



## Cascade of Phase Change Materials (PCM)



**Application Matrix** (Concepts considered in main part of this presentation):

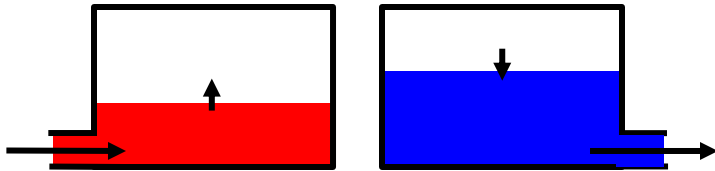
**Legend:** ■ With Parabolic Trough Power Plant  
■ With Solar Tower Power Plant

Load Type	Two Body Thermal Separation	One Body Thermocline	Cascade of PCM
Indirect Load	Molten-Salt (Oil as HTF)		
Direct Load	Molten-Salt also as HTF		
	Molten-Salt also as HTF		

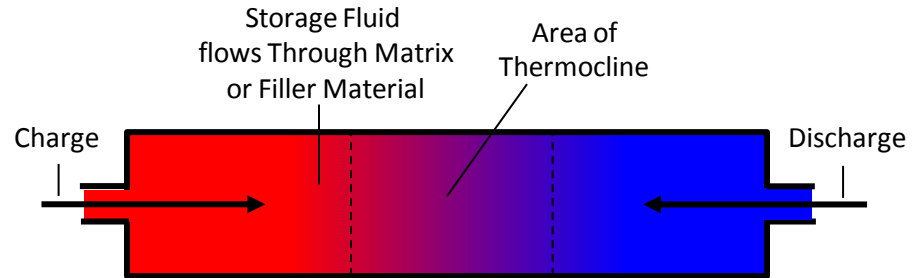
# Thermal Energy Storage (TES) Concepts

## Two Body Thermal Separation

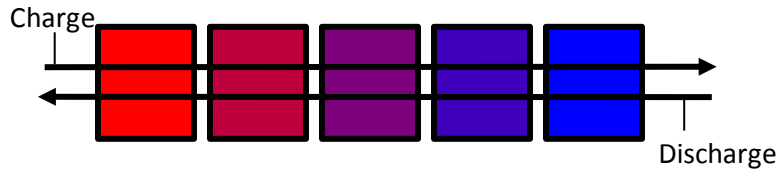
Charge Flow Direction is shown



## One Body Thermocline



## Cascade of Phase Change Materials (PCM)



## Not Considered Concepts:

- Thermochemical Concepts
- Supplement: Heat Capacity Enhancement by Nano Particles
- Direct Contact Regenerator
- Further PCM Concepts (e.g. for direct steam generation)

[12]

## Application Matrix (including concepts considered in appendix → not bold):

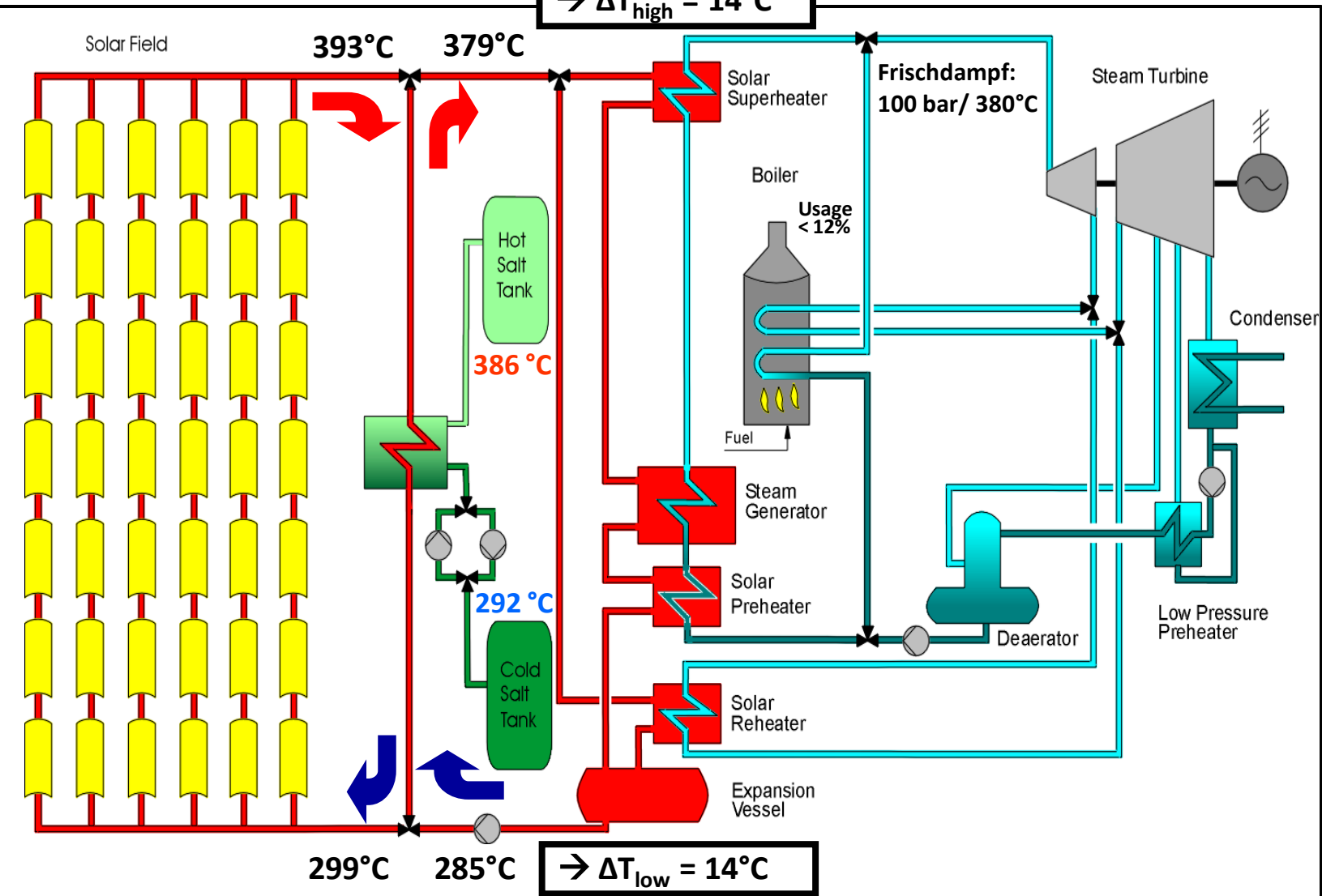
**Legend:** ■ With Parabolic Trough Power Plant  
■ With Solar Tower Power Plant

Load Type	Two Body Thermal Separation	One Body Thermocline	Cascade of PCM
Indirect Load	<b>Molten-Salt (Oil as HTF)</b>	Molten-Salt through Quartzite/Sand (Oil as HTF)	E.g.: $MgCl_2/KCl/NaCl + KOH + KNO_3 + KNO_3/KCl + NaNO_3$
	Sand (Air as HTF)		
Direct Load	<b>Molten-Salt also as HTF</b>	Thermo-Oil through Concrete	
	<b>Molten-Salt also as HTF</b>	Air through Ceramic	

# Indirekter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen Kraftwerk

## Solar Millennium: Prozess Diagramm Andasol-Kraftwerk mit thermischem Speicher

→  $\Delta T_{\text{high}} = 14^\circ\text{C}$



Graphic from Solar Millennium [1].  
Added:  
• Storage Temp. Heatexchanger with  $\Delta T = 7\text{ K}$   
• Boiler Usage

# Indirekter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

## Flüssig-Salz: Verhinderung der Verfestigung

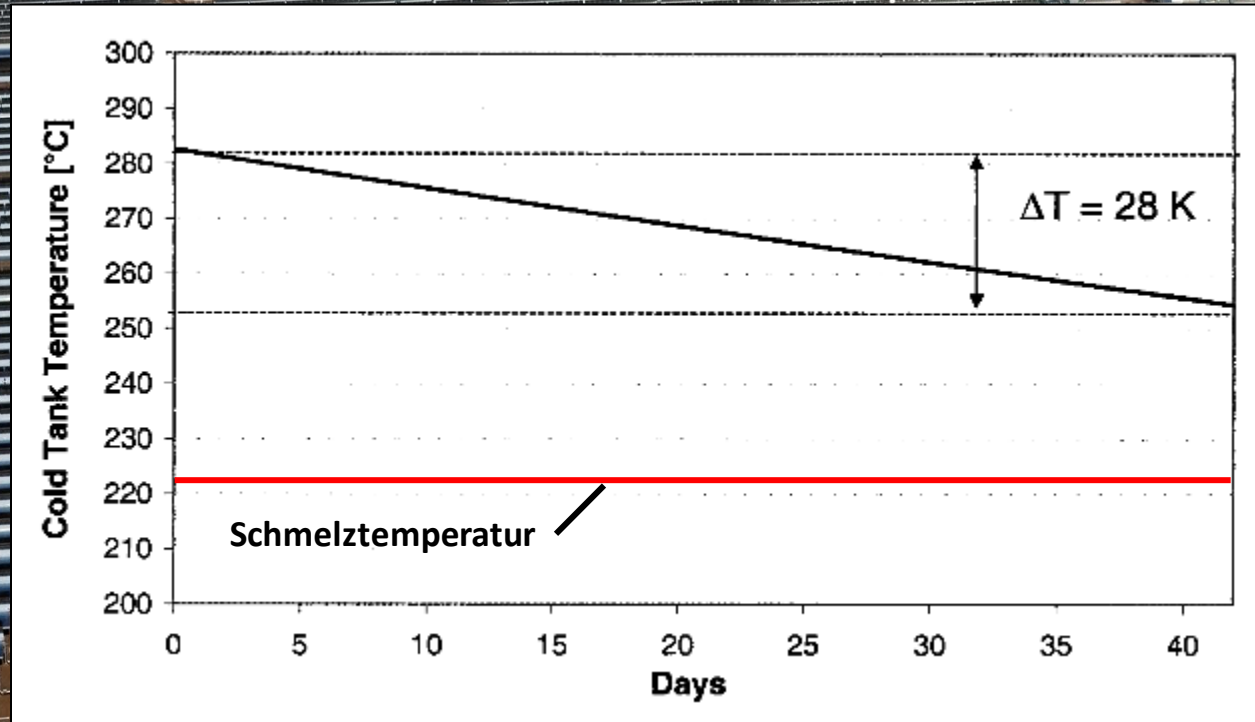
from Solar Millennium: [1]

Verwendetes Flüssigsalz:  
Eutektische Mischung  $\text{NaNO}_3$  (60%) +  $\text{KNO}_3$  (40%)

Stability:  $T_{\text{high}} = 650^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{low}} = 222^\circ\text{C}$

Usage:  $T_{\text{high}} = 390^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{low}} = 290^\circ\text{C}$

NREL [3]



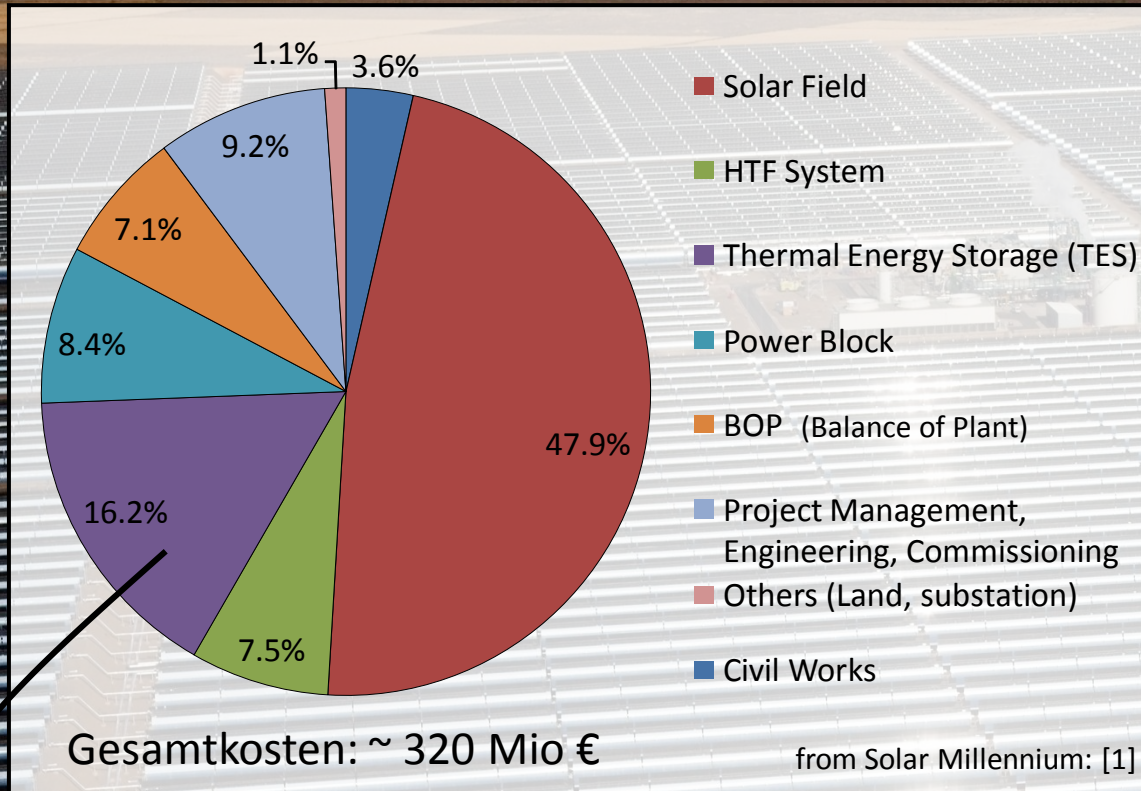
Flabeg [2]



# Indirekter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

## Kosten: Andasol-Kraftwerk (50 MW<sub>el</sub>) mit thermischem Speicher (ca. 8 h)

from Solar Millennium: [1]



TES Total Price: ~ 320 Mio € \* 16,2 % = 51,8 Mio €

→ TES Costs per Storage Capacity (electric): ~ 51,8 Mio € / 400 MWh<sub>el</sub> = 129 € / kWh<sub>el</sub>

# Indirekter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

## Aktuelle Projekte

from Solar Millennium: [1]



### Aktuelle Projekte 50 MW<sub>el</sub> und thermischem Speicher (ca. 8h)

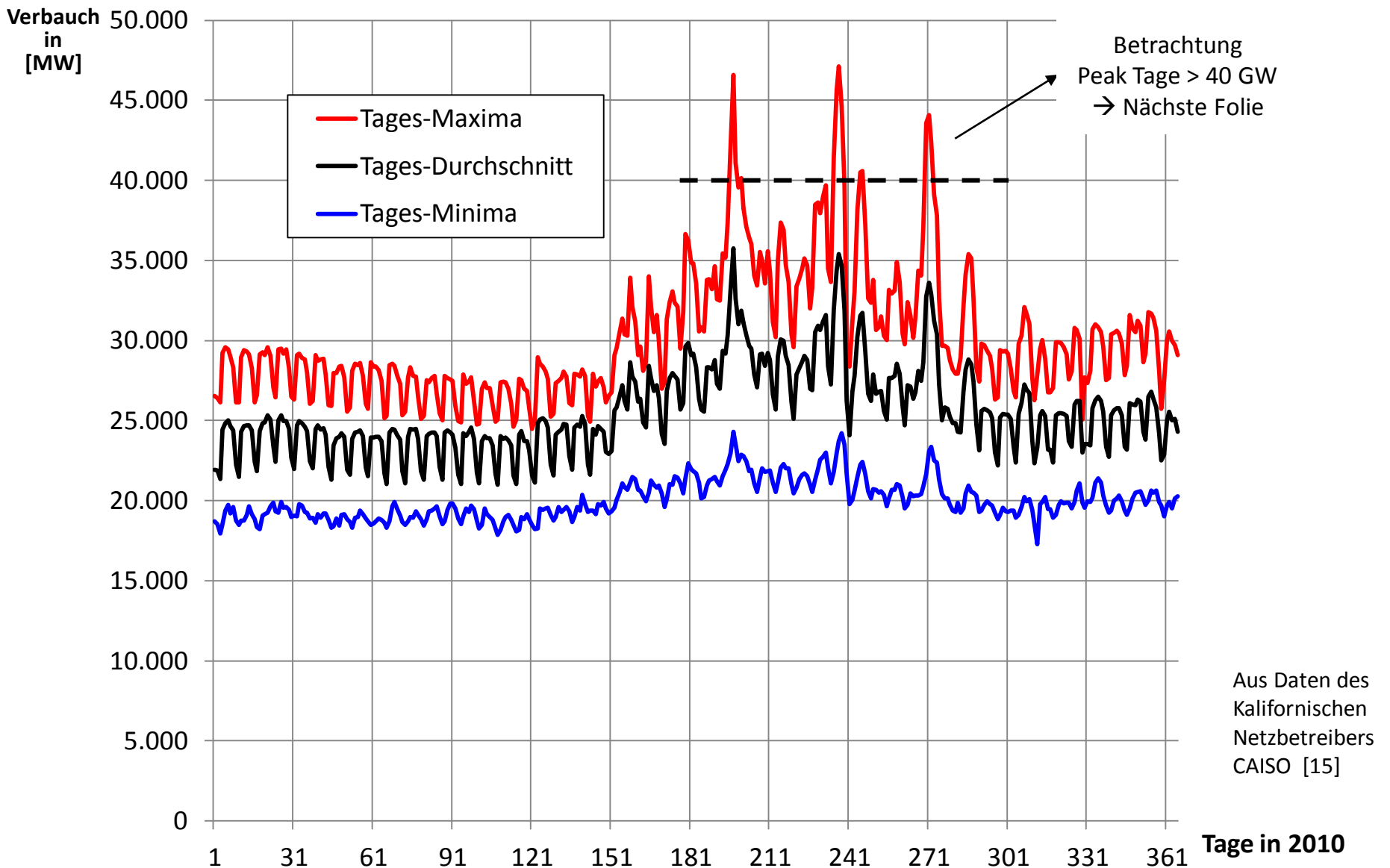
- \* Spanien Andasol 1 und 2: im regulären Betrieb ( Nov 2008 / Jul 2009 )
- \* Spanien Andasol 3: am Netz und im Testbetrieb, regulärer Betrieb steht kurz bevor  
(Meldung Solar Millennium 18.07.2011)
- \* Spanien Arenales: im Bau (Meldung Solar Millennium 01.08.2011)
- \* Spanien Ibersol: bauvorbereitende Maßnahmen finden statt  
(Meldung Solar Millennium 28.03.2011)

### Aktuell (06.10.2011): USA Projektpipeline 2,25 GW<sub>el</sub> Entscheidung für Photovoltaik

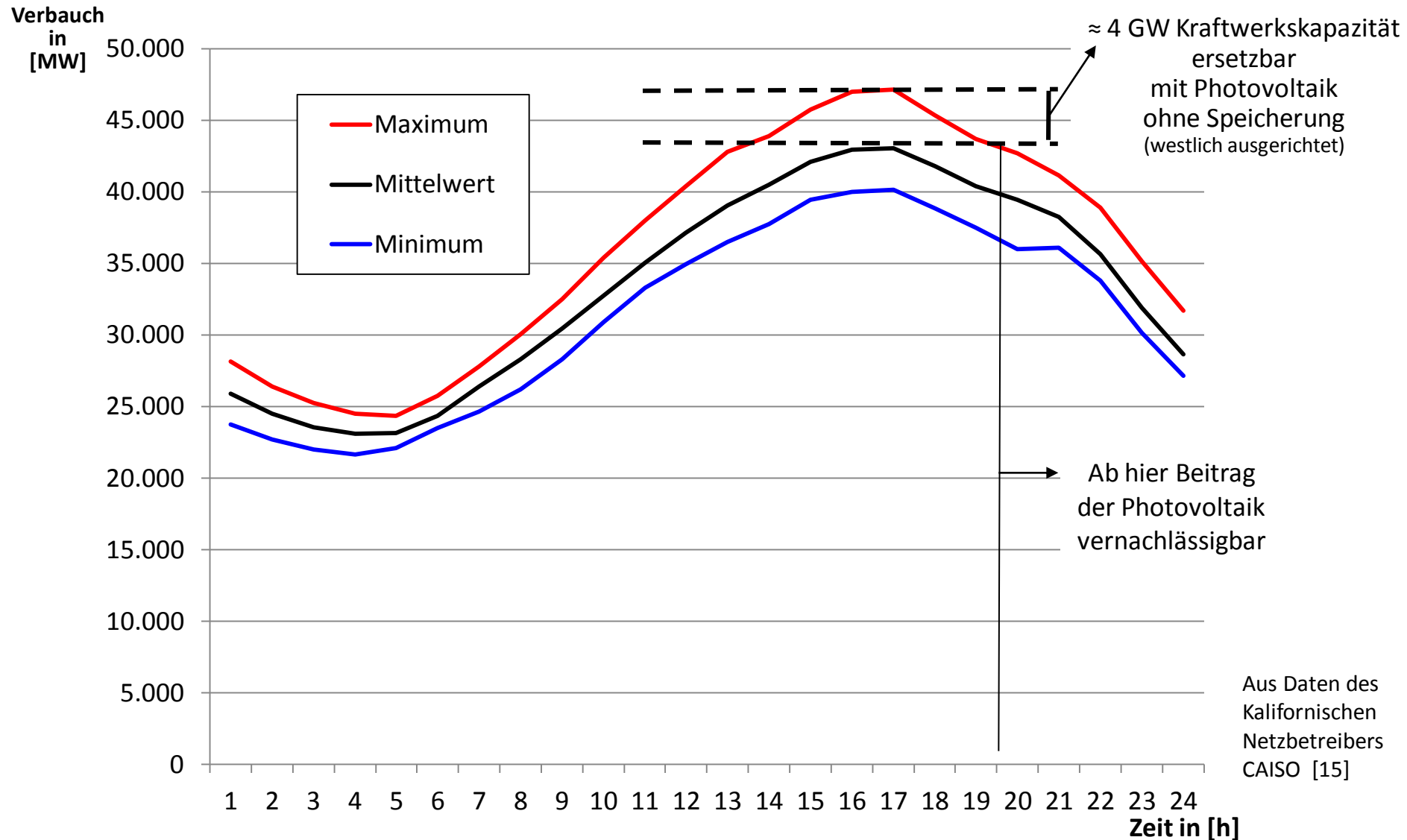
(Meldung Solar Millennium 06.10.2011)

- Momentane finanzielle Gründe: Keine Vergütung der Speicherfähigkeit
- Aber: Energiewirtschaftliche Gründe sprechen für eine Vergütung der Speicherfähigkeit → next slides

# Stromverbrauch Kalifornien 2010 → Jahresgang

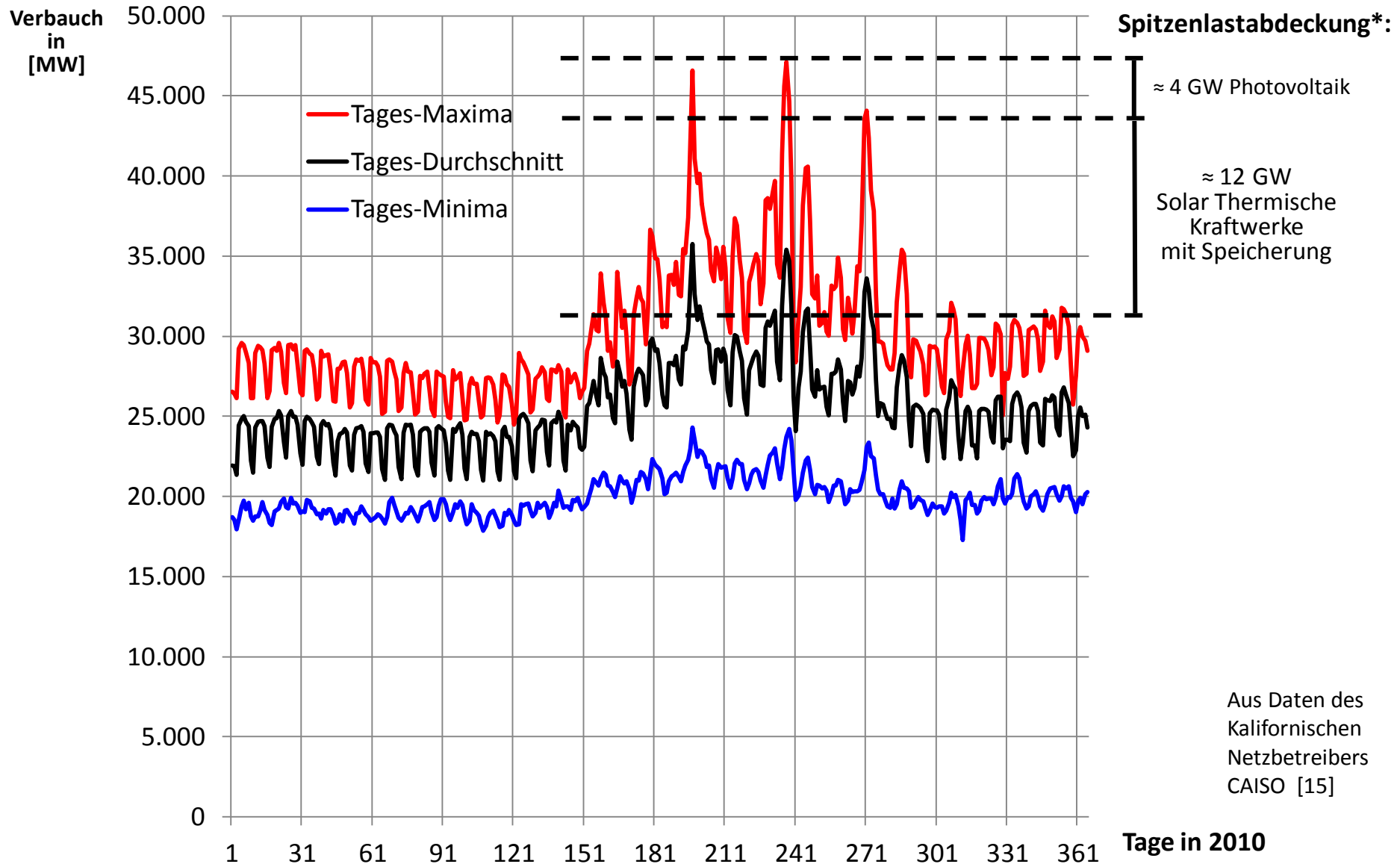


# Stromverbrauch Kalifornien 2010: Tagesgang der Peak-Tage



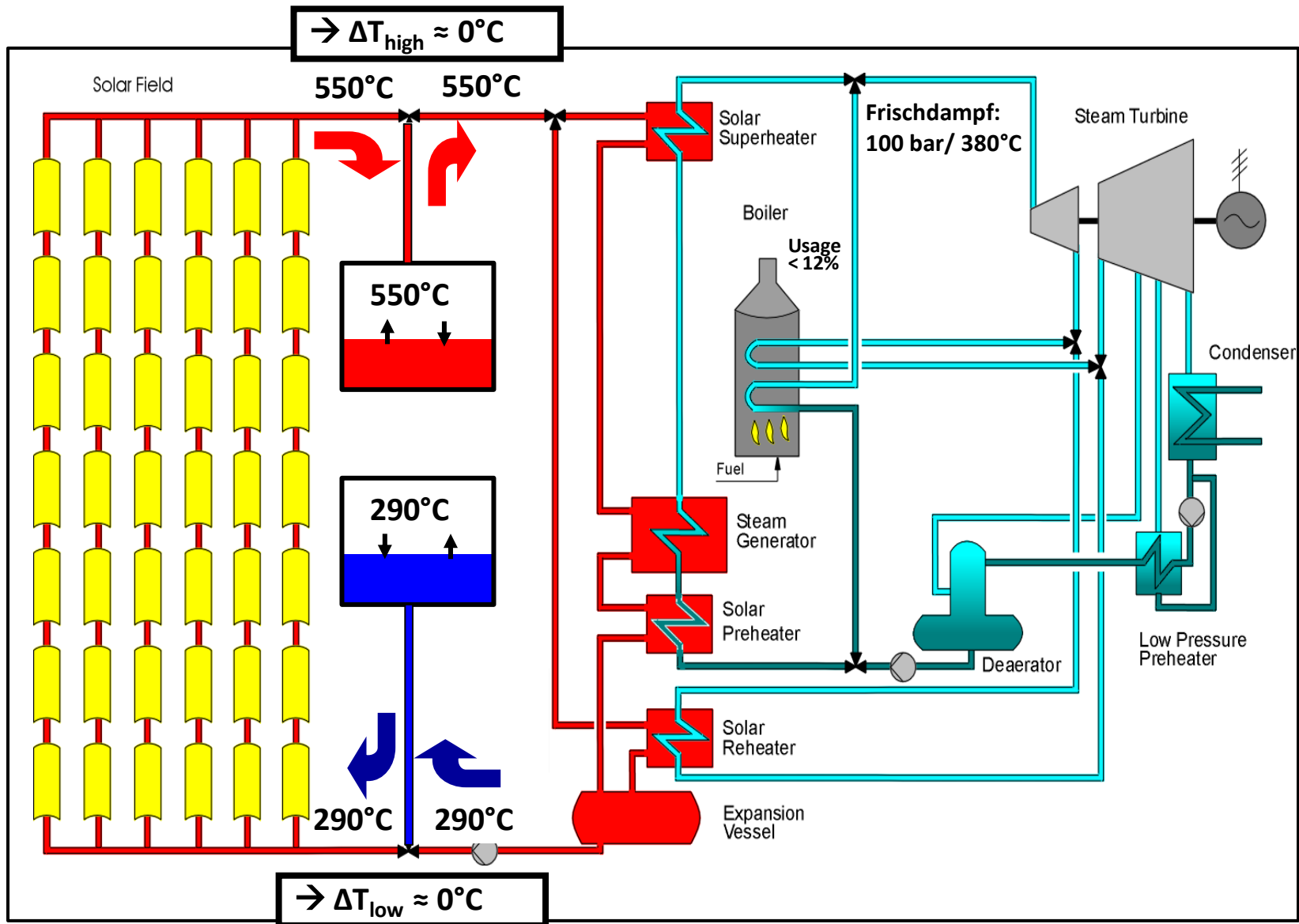
# Stromverbrauch Kalifornien 2010: Jahresgang und Spitzenlast

\* Ohne Berücksichtigung von evtl. Maßnahmen des „Demand Side Management“



# Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen Kraftwerk

## Solar Millennium: Prozess Diagramm Andasol-Kraftwerk mit thermischem Speicher



Graphic from Solar Millennium [1].  
Added:  
• Direct Storages  
• Storage Temp.  
• Boiler Usage

# Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

## Benefits and Challenges

**Increase HTF within the Solar Collector Field:**

$T_{\text{high}} = 390^{\circ}\text{C}$  with Thermal Oil  $\rightarrow T_{\text{high}} = 500^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$  with Molten-Salt

**Benefits: Cost Reductions with  $T_{\text{high}} = 500^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$ :**

- (1) Higher Turbine Efficiency  $\rightarrow$  Decrease of Solar Field Costs (+ Higher Storage Capacity)
- (2) Less mass of storage material for the same storage capacity
- (3) No Temperature Loss in Storage ( $\Delta t_{\text{high,low}} = 0 \text{ K}$ ) + No Oil-Salt Heat Exchanger required

**Challenges:**

- (1) Prevent Freezing of Molten-Salt within the Solar Collector Field and Heat Loss
- (2) Increased Heat Loss of Molten-Salt within the Solar Collector Field
- (3) Higher Corrosion due to higher Molten-Salt Temperature  $\rightarrow$  Improved Steels required
- (4) Absorber Films, that with Temperature Resistance  $> 550^{\circ}\text{C}$   $\rightarrow$  Done, Archimede Solar [6]

# Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

## Measures and Heat Loss Calculation for Freezing Prevention

### Challenges:

- (1) Prevent Freezing of Molten-Salt within the Solar Collector Field and Heat Loss

### Measures

- (1) Prevent Freezing through Pumping the Cold Tank Molten Salt over night through the Collector Field including emergency heating
- (2) Development of Salts with lower Melting Temperature and still low price and stability → (SNC USA [16])
- (3) Entleeren und Wiederbefüllen

### Heat Loss Calculation:

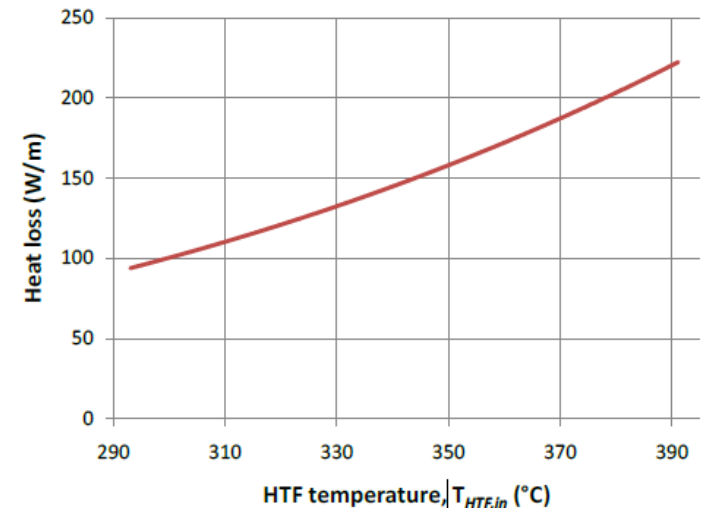
Consider Heat Loss within Solar Collector Field:

Heat Loss (with 270°C)  $\approx 80$  W/m

Solar Millennium (Andasol): Collector Length  $\approx 85$  km

→ Heat Loss:  $\approx 6,8$  MW<sub>th</sub>

→ Temperature Loss within Cold Storage  $\approx 7$  K / 12 h



NREL [14]



# Direkter Zwei-Tank Flüssig-Salz Speicher für Parabolrinnen-Kraftwerk

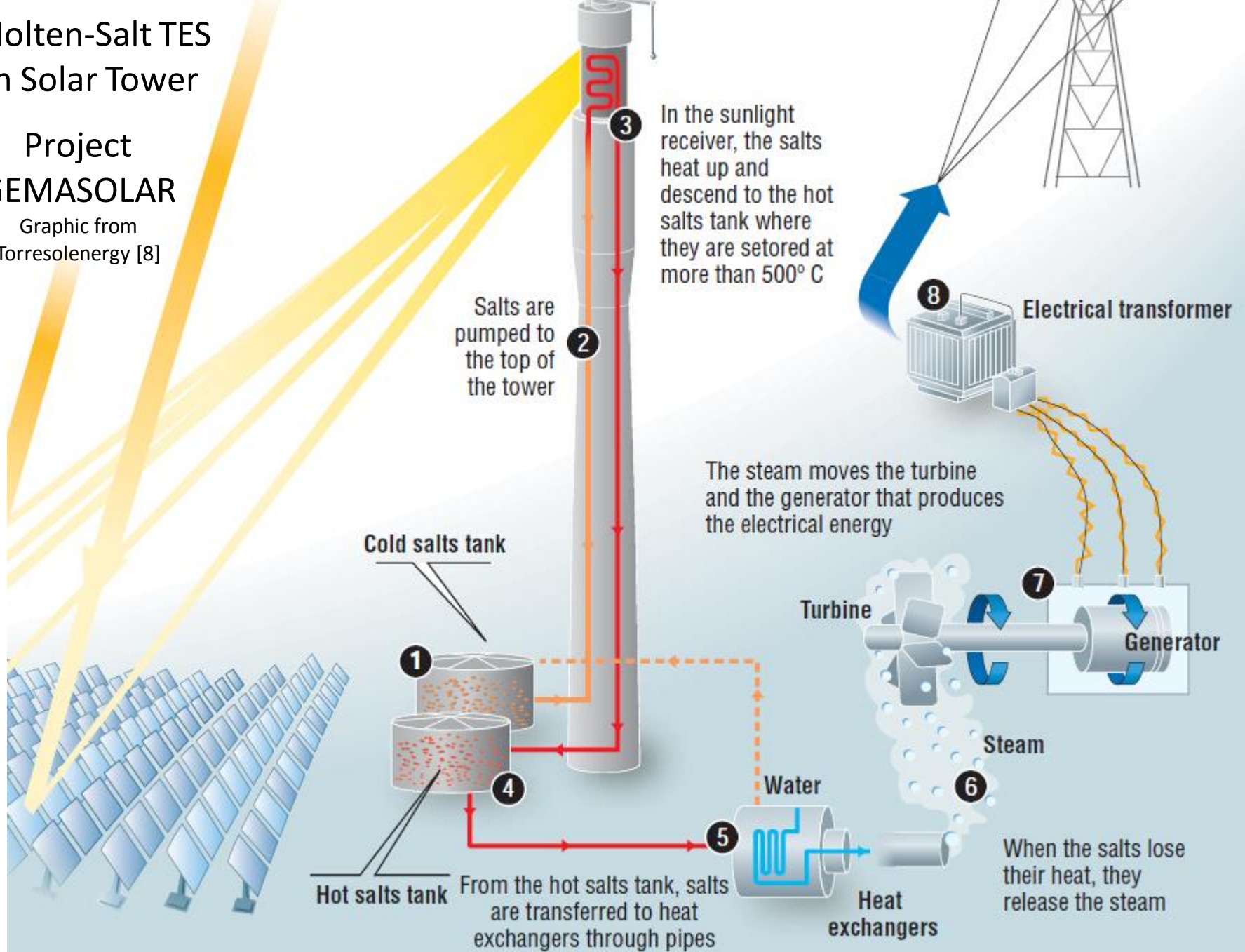
## Aktuelle Projekte

Project Name, Power Plant,	Start Date, Location	Partners	Details and Technical Parameters	Status, Reference
Archimede, Parabolic Trough	Jul 2010, Priolo Gargallo in Syracuse, Sicily	Archimede Solar Energy, Enel, Siemens, Italien Energy Research Agency ENEA,	Two 50 meter long collector strings, 6 meter aperture, 5 MW <sub>el</sub> , 550°C upper limit	Demonstration, Operational, [4], [5]
Parabolic Trough,	In planning, Portugal	Energia de Portugals, Archimede Solar, University of Evora, Siemens, DLR SF, K+S AG, ..	„Testanlage für den Betrieb von Receivern mit geschmolzenem Salz“ 300 meter long collector string,	In planning, [6]
Molten Nitrate Salt Development for Thermal Storage ...	Ongoing	Sandia National Laboratories (SNC) in USA	Experimental Studies ongoing to evaluate and optimize physical and chemical properties of Salt Compositions (Ternary and Quaternary)	[16]
Chiyoda and Archimede Cooperation	June 2011	Chiyoda (Japan), Archimede Solar Energy, Siemens	Chiyoda and Archimede Solar Energy sign Cooperation Agreement to develop CSP plant projects in MENA region with molten salt as HTF	Cooperation, Archimede [20]

# Molten-Salt TES in Solar Tower

## Project GEMASOLAR

Graphic from  
Torresolenergy [8]



# Thermische Speicher bei Nutzung in Solarthermischen Kraftwerken

Speichertyp	Status, Kapazität, Leistung	T <sub>high</sub>	Δ T <sub>high, low</sub>	Preis [€/kWh <sub>el</sub> ]	# Zyklen	Effektive Effizienz*	Verlust-rate
Indirekter Zwei-Tank Salzspeicher	Kommerz. in Betrieb 400 MWh <sub>el</sub> , 50 MW <sub>el</sub>	386°C	14 K	129 (real)	> Lebensdauer KW	> 95 %	etwa 1 % / d
Direkter Zwei-Tank-Salzspeicher in Parabolrinne	Test Betrieb 2 mal 50 m String	500°C - 550°C	≈ 0 K	50 - 70 (Schätzung)	> Lebensdauer KW	> 98 %	etwa 1 % / d
Direkter Zwei-Tank-Salzspeicher in Solar Turm	Kommerz. geplant 280 MWh <sub>el</sub> , 20 MW <sub>el</sub>	565°C	≈ 0 K	50 - 60 (Schätzung)	> Lebensdauer KW	> 98 %	etwa 1 % / d

## \* Definition der effektiven Effizienz $\eta^{\text{eff}}_{\text{Speicher}}$ thermischer Speicher In Solartherm. KW

Gesamte Effizienz ohne Speicher:  $\eta_{\text{ges}} = \eta_{\text{Solarfeld}} * \eta_{\text{Kraftwerk}}$

Gesamte Effizienz mit Speicher:  $\eta_{\text{ges, Speicher}} = \eta_{\text{Solarfeld}} * \eta_{\text{Kraftwerk}} * \eta^{\text{eff}}_{\text{Speicher}}$

$\eta^{\text{eff}}_{\text{Speicher}}$  beinhaltet damit alle Aspekte: thermische Verluste, niedrigere Effizienz im Kraftwerk oder Solarfeld, Zusatz-Verbräuche durch Pumpen

## Energiespeicher für elektrische Energie

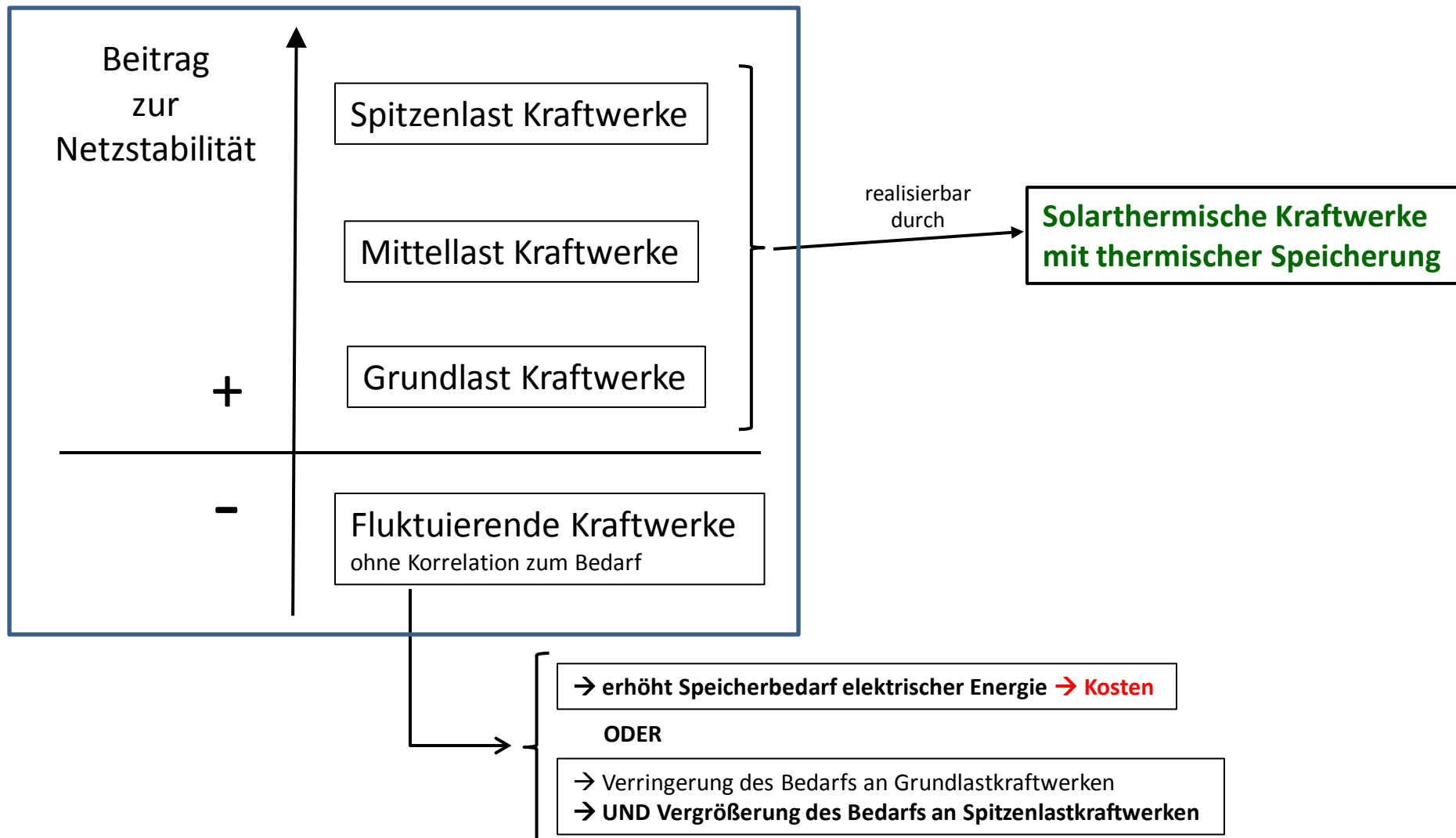
Speichertyp	Euro/kWh <sub>el</sub>	# Zyklen	Effizienz	Verlustrate
Wasser Pumpspeicher (aus Energiestudie AKE 2010)	50 (real)	unbegrenzt	80 %	0 %
Wasser Pumpspeicher inklusive künstlicher Seen am Schluchsee	≈ 67 (geplant)	unbegrenzt	80 %	0 %
Blei-Akkus (aus Energiestudie AKE 2010)	200 (real)	2000	85 %	0,1 % / d

# Anhang

## Anhang:

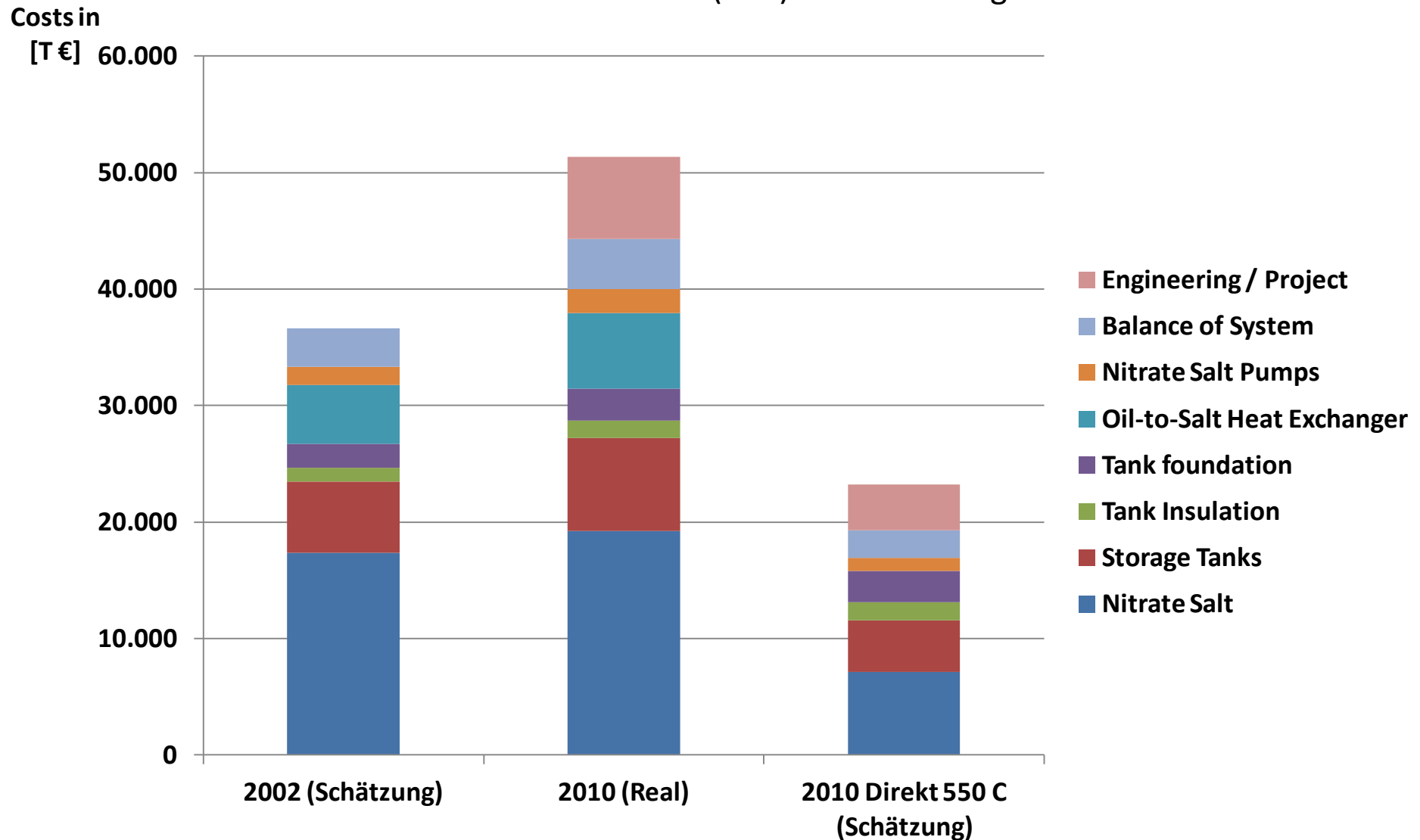
- Bedarf an Speicherfähigkeit
- Details zur Kostenaufteilung beim direkten Zwei-Tank Speichers
- Latentwärme-Speicher → „Phase Change Materials“ (PCM)
- Details zum Solar Turm Projekt Gemasolar mit Flüssigsalz-Speicherung
- Kenngrößen und Preise relevanter Materialien
- Direkter Beton-Öl Speicher (Thermocline)
- Indirekter Ein-Tank Flüssig-Salz Speicher (Thermocline)
- Sand-Luft Speicher (für Solar-Turm)
- Verbleibende Last bei unterschiedlichen PV-Kapazitäten (Beispiel: Der Westen Nordamerika's)
- **Quellenangaben**

# Einführung: Bedarf an Speicherefähigkeit

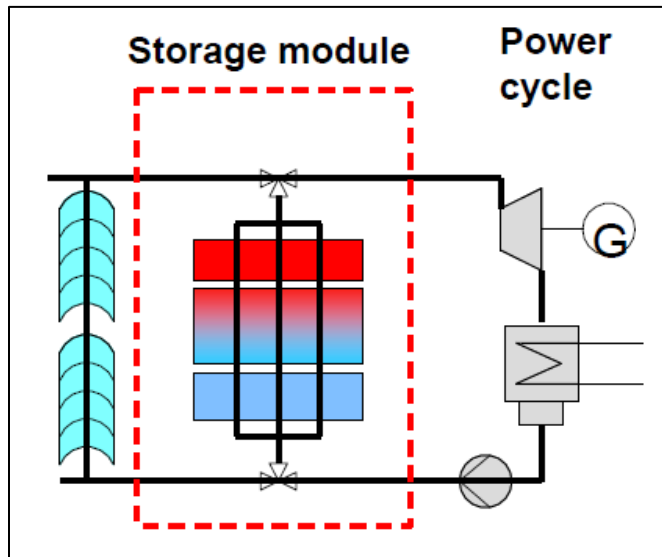


# Direct Two-Tank Molten-Salt TES for Parabolic Trough

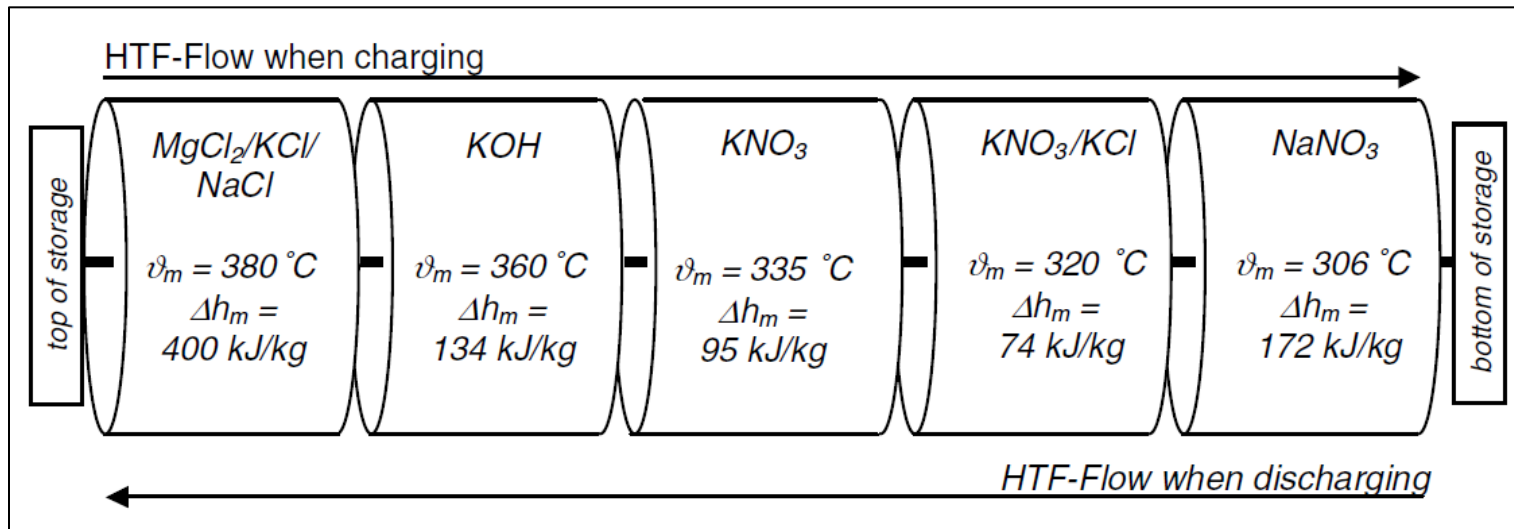
Molten Salt as Heat Transfer Fluid (HTF) AND as Storage Medium



# Latentwarme-Speicher mit „Phase Change Material“ (PCM)

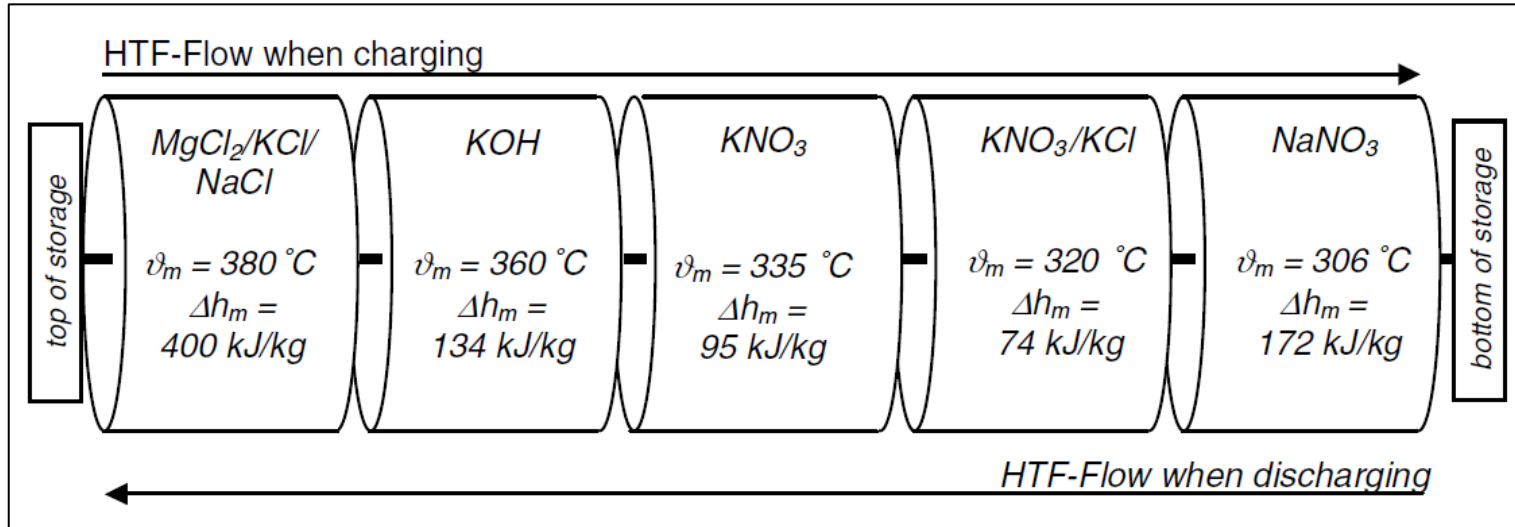


from DLR [11]



from DLR [10]

# Latentwärme-Speicher mit „Phase Change Material“ (PCM)



**Effizienzbetrachtung:** Ermittle  $\Delta T_{high,low}$  für Parabolrinne mit  $T_{high} = 393^\circ C$  und  $T_{low} = 292^\circ C$ :

Annahme: Ausreichender Wärmeübergang bei  $\Delta T \approx 10K$

→  $\Delta T_{high} \approx 23K$  und  $\Delta T_{low} \approx 24K$  (→ relevante Größe für Effizienzverluste)

**Kapazitätsbetrachtung:** Vergleiche Latentwärme-Energie mit sensibler Energie  $E_{sens}$  bei geg.  $\Delta T$  für Flüssigsalz mit  $c = 1,55$  kJ/kgK:

**Parabolrinne mit Öl bei  $T_{high} = 393^\circ C$ :**

$\Delta T_{Speicher} \approx 94 K \rightarrow E_{sens} \approx 146$  kJ/kg

**Parabolrinne oder Solarturm mit Flüssig-Salz bei  $T_{high} = 550^\circ C$ :**

$\Delta T_{Speicher} \approx 258 K \rightarrow E_{sens} \approx 400$  kJ/kg



# Solar-Turm Kraftwerk Gemasolar → Details

## Plant Configuration

### Solar Field

Heliostat Solar-Field Aperture Area:	318,000 m <sup>2</sup>
# of Heliostats:	2,650
Heliostat Aperture Area:	120.0 m <sup>2</sup>
Heliostat Manufacturer:	Sener
Heliostat Description:	Sheet metal stamped facet
Heliostat Drive Manufacturer:	Sener
Tower Height:	150 m
Receiver Manufacturer:	Sener
Heat-Transfer Fluid Type:	Molten salts
Receiver Inlet Temp:	290
Receiver Outlet Temp:	565
Receiver Temp. Difference:	275

### Power Block

Turbine Capacity (Gross):	19.9 MW
Turbine Capacity (Net):	19.9 MW
Cooling Method:	Wet cooling
Fossil Backup Type:	Natural gas

### Thermal Storage

Storage Type:	2-tank direct
Storage Capacity:	15 hour(s)
Thermal Storage Description:	Cold Tank: 295°C Hot Tank: 565°C

## Background

Technology:	Power tower
Status:	Under construction
Country:	Spain
City:	Fuentes de Andalucía
Region:	Andalucía (Sevilla)
Lat/Long Location:	37°33' 44.95" North, 5°19' 49.39" West
Land Area:	190 hectares
Solar Resource:	2,062 kWh/m <sup>2</sup> /yr
Source of Solar Resource:	Sener
Electricity Generation:	110,000 MWh/yr (Expected/Planned)
Contact(s):	<a href="#">Juan Ignacio Burgaleta</a>
Company:	Sener
Break Ground:	February 2009
Start Production:	December 2010
Cost (approx):	230,000,000 Euro
Construction Job-Years:	800
Annual O&M Jobs:	45

## Participants

Developer(s):	Torresol Energy
Owner(s) (%):	MASDAR (40%) Sener (60%)
EPC Contractor:	UTE C.T. Solar Tres
Operator(s):	Gemasolar 2006, S.A.

Infos from NREL [9]

# Relevante Materialeigenschaften und Preise

Material	Preis [\$/t]	Wärmekapaz. [kJ/kg K]	Preis pro Wärmekapaz. [\$/(kWh/K)]	$\Delta T$ [K]	Preis pro Therm. Energie [\$/MWh <sub>th</sub> ]
Wasser		4,19			
Flüssigsalz Binär	500-900	1,5	93 – 167	94	980 – 1780
				258	360 – 647
Flüssigsalz Hitec	900	1,5	167	258	647
Quarzit /Sand	72	0,80	25	94	266
				258	97
Öl (Therminol) [19]	3000 - 4000	2,3 – 2,6	340 - 454	94	3617 - 4830
Beton	50	0,85	16	94	174
Silica Sand	17	0,80	21	300	70

## Flüssig-Salz mit Quarzit-Sand Void Factor = 0,25

→ Mischpreis für Thermocline:  
Binär mit 94 K: 445 \$/MWh  
Binär mit 258 K: 163 \$/MWh  
Hitec mit 258 K: 235 \$/MWh

## Concret-Oil mit

da = 0,08 m, di = 0,02 m

Void factor =

$$0,02^2 * \pi / 4 / 0,08^2 = 0,05$$

→ Mischpreis = 346 \$/MWh

# Materialeigenschaften von relevanten eutektischen Salzmischungen

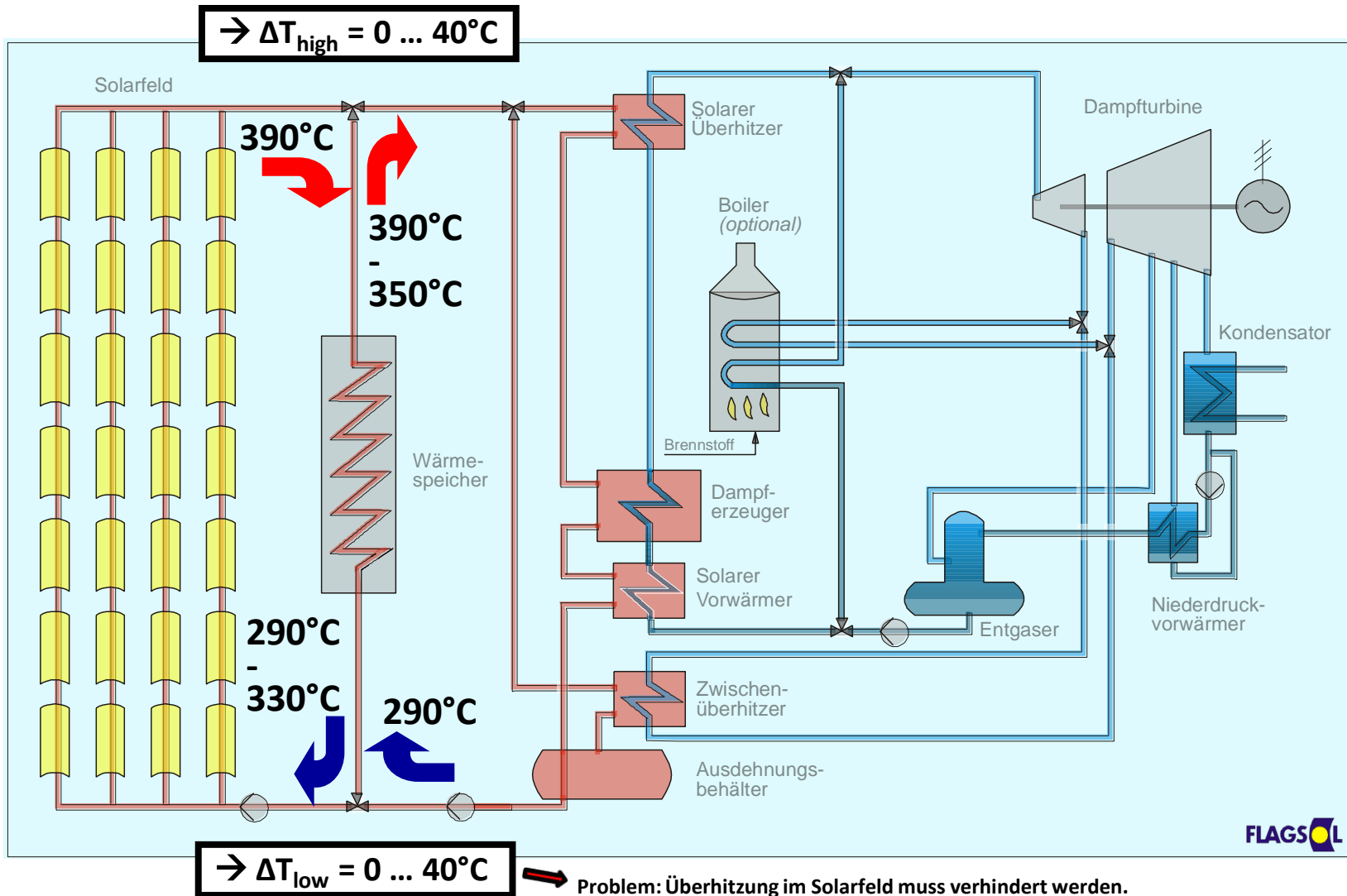
## Main Candidate Salts and Thermodynamic Properties

from NREL [3], page 17

Name	Technical	Binary	Ternary nitrate	Ternary Nitrate/Nitrite
	Trade Name	Binary	HitecXL	Hitec
Composition, in weight percent	NaNO <sub>3</sub>	60	15	7
	KNO <sub>3</sub>	40	43	53
	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	--	42	
	NaNO <sub>2</sub>	--		40
Temperatur Limits	Upper	650	450	510
	Lower	220	120	142
Properties at 450°C	Density [kg/m <sup>3</sup> ]	1,804	1,868	1,750
	Specific Heat [kJ/kg K]	1,520	1,395	1,560
	Viscosity [kg/m <sup>2</sup> K]	0,00147	0,00163	0,00163
	Conductivity <sub>th</sub> [W/m K]	0,529	0,519	0,297

# Concrete-Oil TES

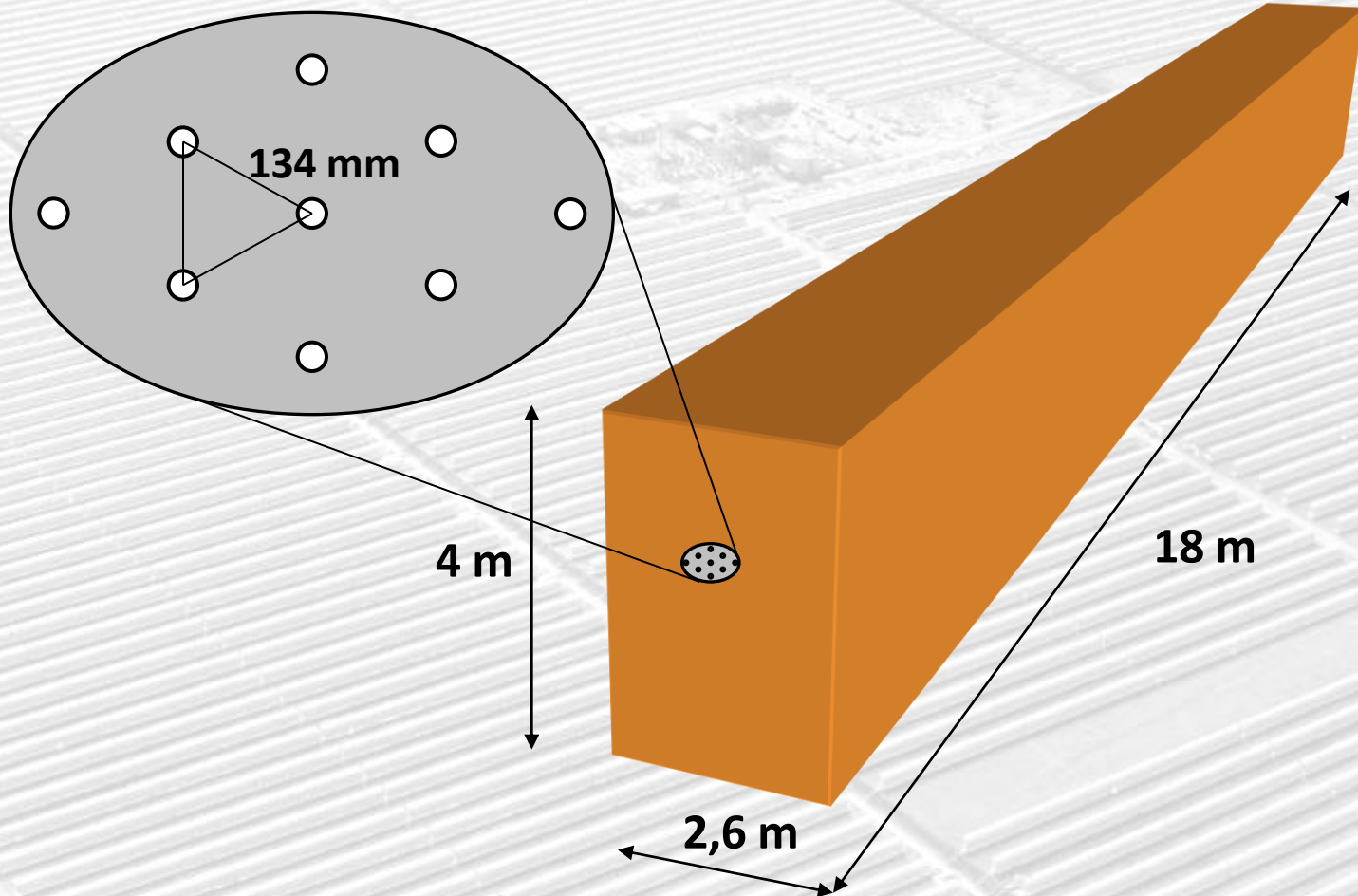
## Züblin, Flagsol: Prozess Diagramm Andasol-Kraftwerk mit thermischem Speicher



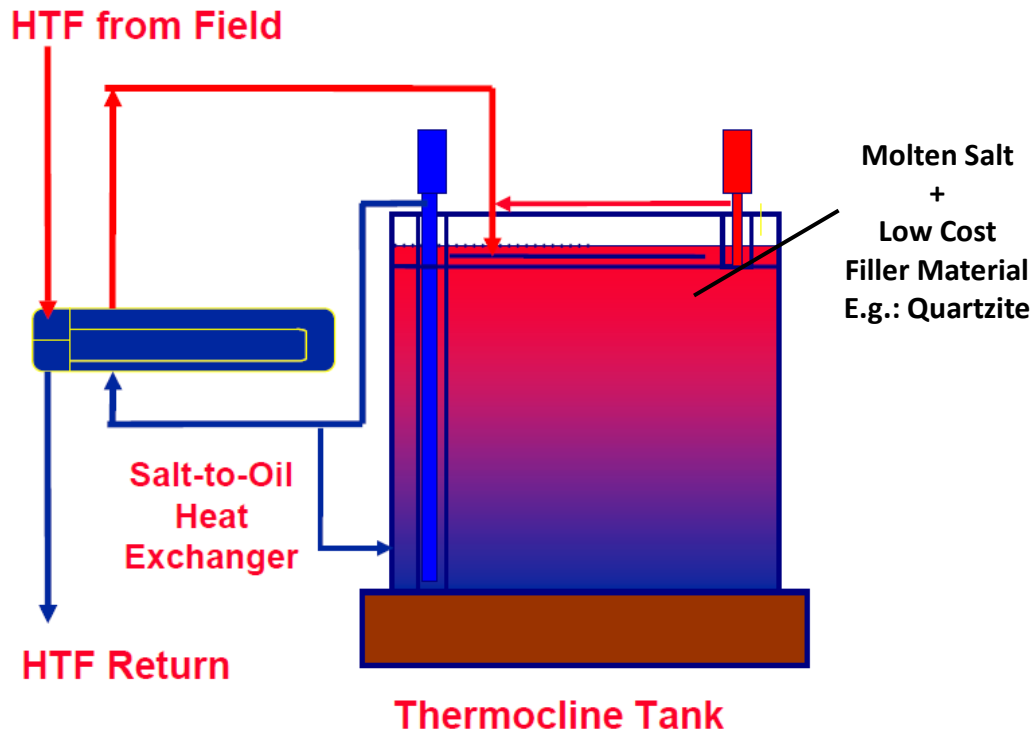
Graphic from Flagsol [21].

# Details zum Beton-Öl Speicher

## Basismodul:



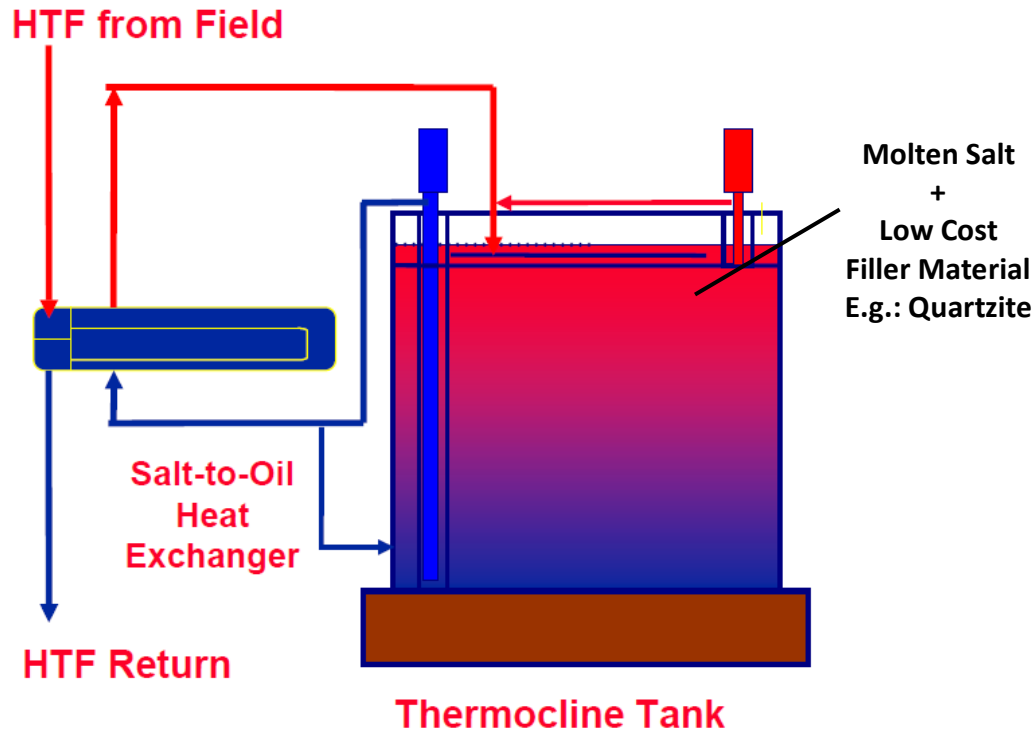
# Molten Salt Thermocline TES



→  $\Delta T_{\text{high, low}} \approx 14 \dots 50^\circ\text{C}$

Problem: Überhitzung im Solarfeld muss verhindert werden.

# Molten Salt Thermocline TES



## Economic Analysis of a Two-Tank and Thermocline System with each Storage Capacity 688 MWh<sub>th</sub>

Component	Two-Tank Molten Salt	Thermocline with Quartzite
Nitrate Solar Salt, \$k	11800	3800
Filler Material, \$k	0	2200
Tank(s), \$k	3800	2400
Salt-to-oil Heat Exchanger, \$k	5500	5500
Total, \$k	21100	13900
Specific Cost, \$/kWh	<b>31</b>	<b>20</b>

### Including consideration of:

Practical Capacity given as percentage of the theoretical Capacity:

Two Tank Molten Salt ≈ 85 %

Thermocline ≈ 69 %

# Air – Sand TES for Solar Tower Power Plants

## Sand with dual function:

- (1) As Storage Medium
- (2) Storage Heat Transfer Fluid

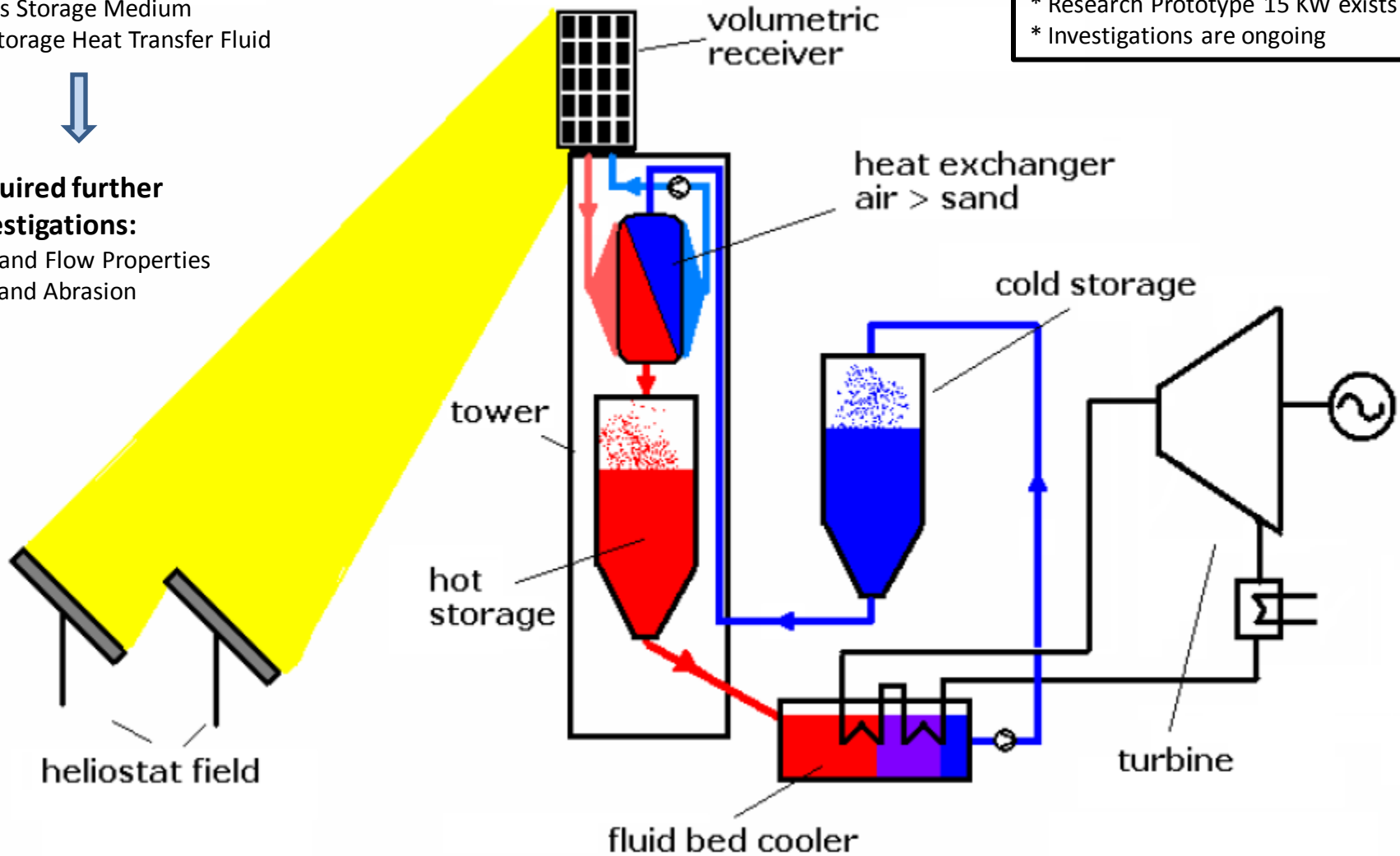


## Required further Investigations:

- (A) Sand Flow Properties
- (B) Sand Abrasion

## Status:

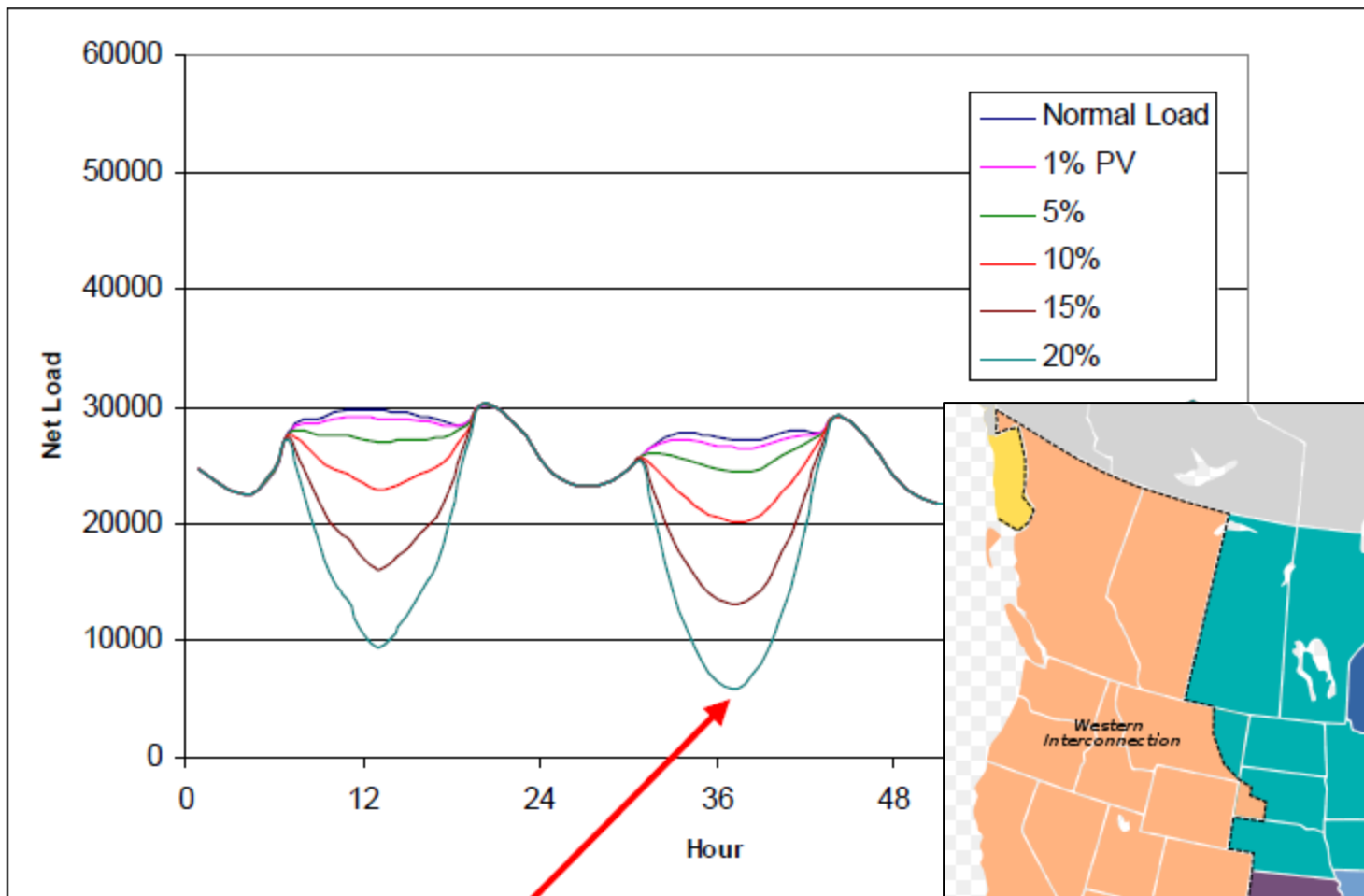
- \* Research Prototype 15 KW exists
- \* Investigations are ongoing





# Verbleibende Last bei unterschiedlichen PV-Kapazitäten

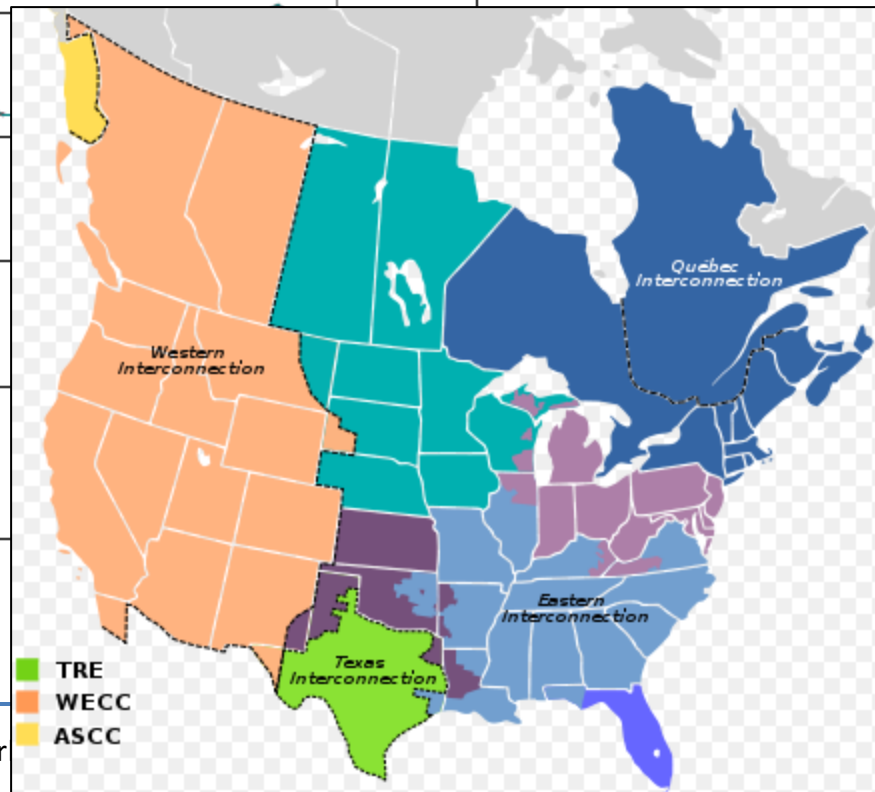
Studie des National Renewable Energy Laboratory (NREL)  
mit Auswertung von WECC-Daten (US Western Interconnection)



NREL [17]

Wikipedia [18]

**Signifikante Vergrößerung  
der Last-Schwankungen**



# Quellenangaben

- [1] Schnatbaum-Laumann, L., Solar Millennium AG, „Solarthermische Kraftwerke - Flexible Stromversorgung dank integriertem Speicher“, Presentation: Berliner Energiekonferenz Erneuerbare Energien, Sep 2010
- [2] Herrmann, Ulf; Kelly, Bruce; Price, Henry, „Two-Tank Molten Salt Storage for Parabolic Trough Solar Power Plants“, Presentation: Solarpaces Sep. 2002 in Zürich:  
<http://wenku.baidu.com/view/6adff94f852458fb770b5609.html>
- [3] Price, H., Brosseau, D., Kearney, D., Kelly, B., U.S. Department of Energy (DOE), NREL (National Renewable Energy Laboratory) Report „DOE Advanced Thermal Energy Storage Development Plan for Parabolic Trough Technology“, Jan 2007
- [4] Wikipedia about Archimede Solar Power Plant:  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Archimede\\_solar\\_power\\_plant](http://en.wikipedia.org/wiki/Archimede_solar_power_plant)
- [5] Enel (Largest Italian Power Company) about the Archimede Project:  
[http://www.enel.com/en-GB/innovation/project\\_technology/renewables\\_development/solar\\_power/archimede.aspx](http://www.enel.com/en-GB/innovation/project_technology/renewables_development/solar_power/archimede.aspx)
- [6] Archimedes and Siemens Press Release about Portugal Project with Molten Salt as Heat Transfer Fluid for Parabolic Trough, Feb 2011:  
[http://www.archimedesolarenergy.com/scheda\\_news.asp?id=93](http://www.archimedesolarenergy.com/scheda_news.asp?id=93) and  
[http://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=/de/pressemitteilungen/2011/renewable\\_energy/ere201102037.htm](http://www.siemens.com/press/de/pressemitteilungen/?press=/de/pressemitteilungen/2011/renewable_energy/ere201102037.htm)
- [7] Pachero, James E.; „Development of a Molten-Salt Thermocline Thermal Storage System for Parabolic Trough Plants“, Proceedings of Solar Form 2001 Solar Energy: The Power to Choose, Washington, DC, April 2011:  
<http://www.p2pays.org/ref/22/21032.pdf>
- [8] Info from Torresolenergy about their Solar Tower Project „Gemasolar“:  
[http://www.torresolenergy.com/EPORTAL\\_DOCS/GENERAL/SENERV2/DOC-cw4cb709fe34477/GEMASOLARPLANT.pdf](http://www.torresolenergy.com/EPORTAL_DOCS/GENERAL/SENERV2/DOC-cw4cb709fe34477/GEMASOLARPLANT.pdf)
- [9] Info from NREL (National Renewable Energy Laboratory) about the Solar Tower Project „Gemasolar“:  
[http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project\\_detail.cfm/projectID=40](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/project_detail.cfm/projectID=40)
- [10] Michels, Horst; Pitz-Paal, Robert; „Cascaded Latent Heat Storage for Parabolic Trough Solar Power Plants“, Solar Energy 81 (2007), p 829 – 873:  
<http://infolib.hua.edu.vn/Fulltext/ChuyenDe/ChuyenDe07/CDe112/45.pdf>

# Quellenangaben

[11] Tamme, Rainer (DLR); „Latentwärmespeicher (PCM) – Einsatzmöglichkeiten und Grenzen im Hochtemperaturbereich“; DFG Workshop, Berlin 2010

[12] Laing, Doerte (DLR); „Trends in Thermal Storage Systems – Summary on Conference Presentations“; SolarPACES 2011, Granada Spain, Sep 2011

[13] Schott, Solar Receiver Rohr: Produkt Beschreibung PTR®70,  
<http://www.schottsolar.com/de/produkte/solarstromkraftwerke/schott-ptr-70-receiver/>

[14] Burkholder, F. ; Kutscher C., NREL „Heat Loss Testing of Schott’s 2008 PTR70 Parabolic Trough Receiver:  
<http://www.nrel.gov/docs/fy09osti/45633.pdf>

[15] CAISO (Californie independent System Operation)  
<http://www.caiso.com/Pages/default.aspx> → Click on the numbers → Click into the Graph → Open OASIS  
<http://www.caiso.com/Pages/Today's-Outlook-Details.aspx> → Energy → Energy Report Requestor

[16] Bradshaw R. W., Siegel N. P., Sandia National Laboratories (SNC) US,  
„Molten Salt Development for Thermal Energy Storage in Parabolic Trough Solar Power Systems“  
<http://large.stanford.edu/publications/coal/references/docs/ES2008-54174-molten-salt-for-troughs.pdf>

[17] Denholm P., Mehos M. S., NREL (National Renewable Energy Laboratory) Presentation „Value of Thermal Energy Storage: A US Analysis“, SolarPACES Plenary Panel Power on Demand, Sep 2011

[18] Wikipedia on WECC (Western Electricity Coordination Council): [http://en.wikipedia.org/wiki/Western\\_Electricity\\_Coordinating\\_Council](http://en.wikipedia.org/wiki/Western_Electricity_Coordinating_Council)

[19] Therminol VP-1 Eigenschaften:  
[http://www.therminol.com/pages/bulletins/therminol\\_vp1.pdf](http://www.therminol.com/pages/bulletins/therminol_vp1.pdf)

[20] Press Release of Archimede Solar Energy: „Chiyoda and Archimede Solar Energy sign Cooperation Agreement to develop CSP plant projects in MENA region“:  
[http://www.archimedesolarenergy.com/scheda\\_news.asp?id=99](http://www.archimedesolarenergy.com/scheda_news.asp?id=99)

[21] Flagsol GmbH: <http://www.flagsol.com/flagsol/cms/>