

Große Solarthermie mit großen Wärmespeichern und Wärmepumpen



**Passivhaus
1993**



**Biosolardörfer
seit 2013**



**Großflächen-
solarthermie
in DK seit
über 30 Jahren**



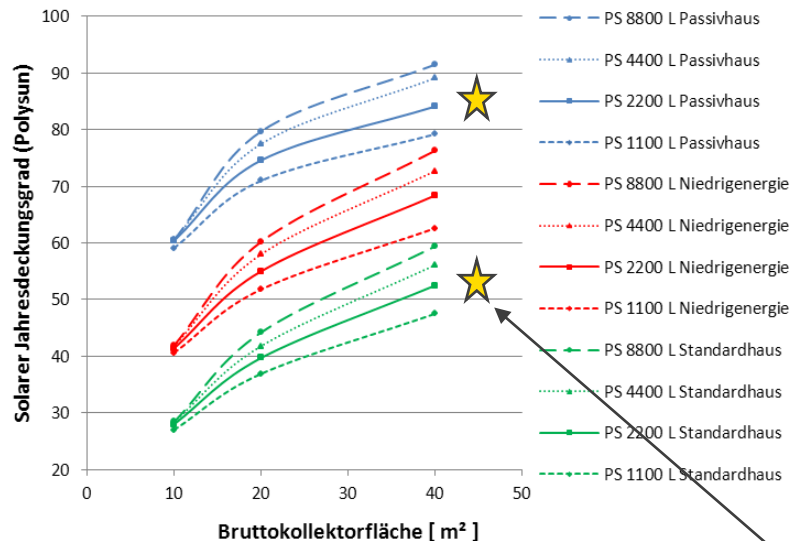
Jennihäuser seit 1976



Erdbeckenspeicher seit 30 Jahren

Hohe solare Jahresdeckungsgrade bei kleinen Anlagen

EFH mit 160 m² Wohnfläche in Pforzheim, CPC-VRK Star Azzurro Plasma



Solarhaus Abrecht
1993

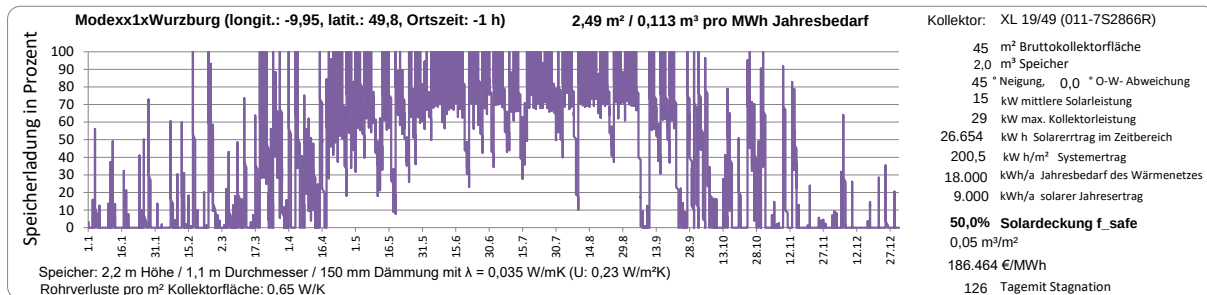
**Einfamilienhaus mit 160 m² Wohnfläche /1/
Warmwasserbedarf: 5 MWh/a**

Passivhaus: $U_{\text{Gebäude}} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $Q_{\text{Heiz p. a.}} = 15 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{\text{WW+Heiz}} \approx 7,5 \text{ MWh}$,

Niedrigenergiehaus: $U_{\text{Gebäude}} = 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$,
 $Q_{\text{Heiz p. a.}} = 30 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{\text{WW+Heiz}} \approx 10 \text{ MWh}$

Standardhaus: $U_{\text{Gebäude}} = 0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
 $Q_{\text{Heiz p. a.}} = 80 \text{ kWh/m}^2$, $Q_{\text{WW+Heiz}} \approx 18 \text{ MWh}$

Standard-EFH mit 160 m²



18 MWh Jahreswärmebedarf (13 Heizen + 5 WW)

50 % solare Jahresdeckung mit

45 m² Kollektorfläche (CPC-Vakuumröhren)

2 m³ Speicher

2,5 m³ / MWh

0,1 m³ / MWh

} Jahresbedarf

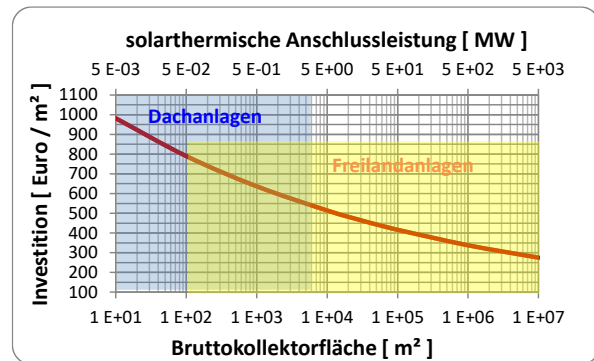
186 Euro/MWh !

126-mal Stagnation !

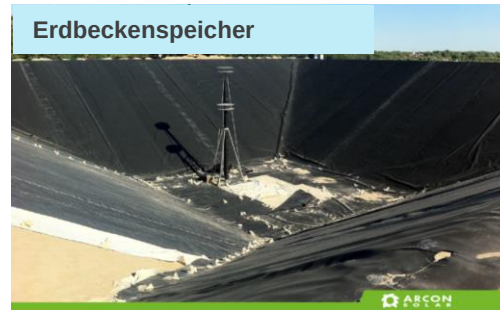
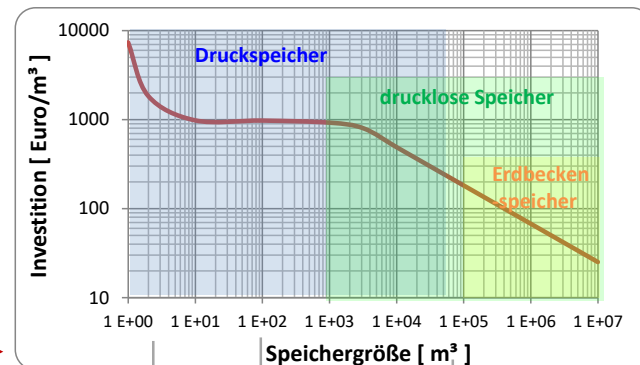
Standardhaus



Skalierung – Der Zusammenhang zwischen Menge und Preis

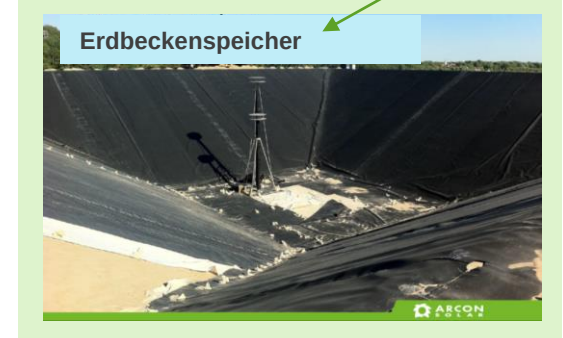


**Skalierung der Kosten
für
Freiland-Kollektorflächen
und
Wärmespeicher**

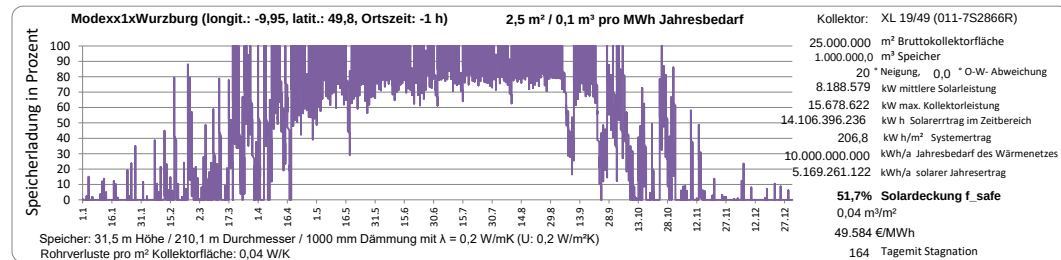


Speicherkonzepte für hohe Solardeckungsgrade

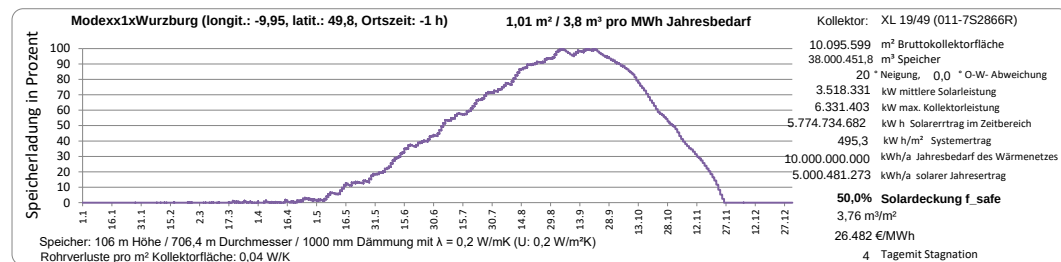
Speicher	Solar- deckung	Jahreswär- mebedarf (JWB)	Fächenbe- darf inkl. Kollektore	Speicher- inhalt	Speicher- ober- fläche	Speicher- typ	Dämmmaterial (Beispiel)	Dämm- stärke	Lambda	Wärme- verlust	Verlust der gespeicher- ten Wärme
		MWh	m ²	m ³	m ²			m	W/mK	kW/K	n-mal/Jahr
Kombispeicher EFH	50...90 %	10	10..50	1	5,5	Stahl	PU	0,15	0,035	1,3E-03	9,7
Jenni-Speicher EFH	50...90 %	10	10...25	10	25,5	Stahl	PU	0,25	0,035	3,6E-03	2,7
Druckspeicher kleines Biosolardorf	12...20 %	3.000	2.500	100	118	Stahl	mineralisch	0,3	0,05	2,0E-02	1,5
Lastausgleichsspeicher große Stadt	-	1.000.000	-	50.000	7.465	Stahl	mineralisch	0,4	0,05	9,3E-01	0,14
Saisonalspeicher Biosolardorf	100%	5.000	22.400	85.000	10.633	Stahl	mineralisch	1	0,2	2,1E+00	0,19
Saisonalspeicher Kleinstadt	100%	50.000	250.000	835.000	71.865	Erdbecken	Blähglas, Bimsstein	1	0,2	1,4E+01	0,13
Saisonalspeicher große Stadt	100%	1.000.000	4.000.000	14.100.000	472.120	Erdbecken	Blähglas, Bimsstein	1	0,2	9,4E+01	0,05
Saisonalspeicher Großstadt	100%	10.000.000	35.000.000	136.000.000	2.136.038	Erdbecken	Blähglas, Bimsstein	1	0,2	4,3E+02	0,024



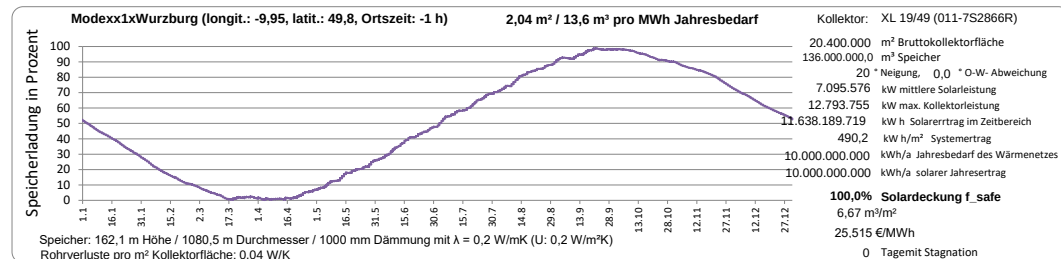
FW-Netz für Großstadt (900 km², 10 TWh/a, 1,5 Mio EW)



52 % solare Jahresdeckung **160-mal Stagnation !**
 25 Mio m² Kollektorfläche
 1 Mio m³ Speicher
2,5 m² / MWh
0,1 m³ / MWh } Jahresbedarf
50 € / MWh Wärmepreis (1 % für den Speicher !)

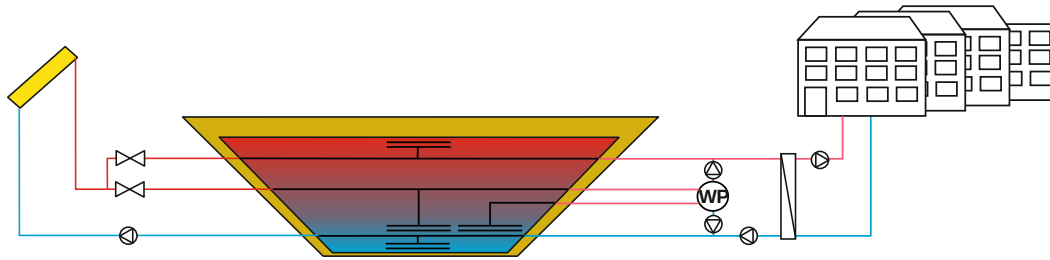


50 % solare Jahresdeckung **keine Stagnation**
 10 Mio m² Kollektorfläche
 38 Mio m³ Speicher
1,0 m² / MWh
3,8 m³ / MWh
26,5 € / MWh Wärmepreis (16 % für den Speicher !)



100 % solare Jahresdeckung **keine Stagnation**
 20,4 Mio m² Kollektorfläche
 136 Mio m³ Speicher
2,0 m² / MWh
14 m³ / MWh
25,5 € / MWh Wärmepreis (17 % für den Speicher !)
35 km² Energieflächenbedarf
(≈ 4 % der Versorgungsfläche)

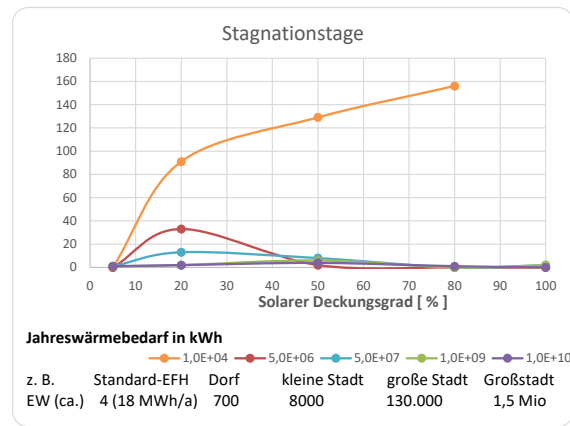
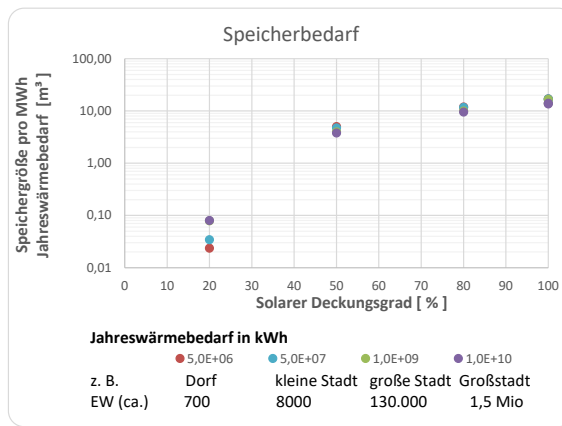
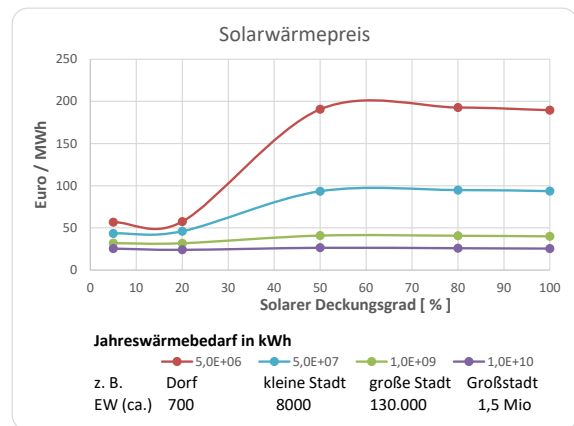
Erdbeckenspeicher für den saisonalen Solarwärmeausgleich



- Ladung (fast) immer schichtend von oben mit $T \approx 95^\circ\text{C}$
- Ladung konvektiv von unten nur,
 - um Schichtung zu bewahren
 - beim Aufwärmen,
 - am Tagesende,
 - für Frostschutz und bei Stagnation
- Entladung immer von oben
- FW-Rücklauftemperatur = Speichergrundtemperatur
- Regeneration der Schichtung mit WP $85 \rightarrow 95^\circ\text{C} // 55 \rightarrow 45^\circ\text{C}$ mit $\text{JAZ} \geq 5$
- WP-Leistung $\ll$ Spitzenwärmebedarf (ca. 3 %)

Kosten von Speicherkonzepten für hohe Solardeckungsgrade

Speicher	Solar- deckung	Jahreswär- mebedarf (JWB)	Speicher- inhalt	Last- wechsel	Investition in den Speicher bei 25 Jahre Betriebszeit					solarer Wärme- preis
								/ JWB	/ Inhalt	
					Euro	Euro/m³	%	€/MWh	€/MWh	
Kombispeicher EFH	50...90 %	10	1	100	6.000	6000	15	0,24	52	320...178
Jenni-Speicher EFH	50...90 %	10	10	3	15.000	1500	30	20	431	400...222
Druckspeicher kleines Biosolardorf	12...20 %	3.000	100	40	100.000	1000	20	0,0333	22	56...33
Lastausgleichsspeicher große Stadt	-	1.000.000	50.000	8760	12.000.000	240	-	5E-05	2,4E-02	-
Saisonspeicher Biosolardorf	100%	5.000	85.000	1	17.000.000	200	72	136	172	190
Saisonspeicher Kleinstadt	100%	50.000	835.000	1	60.000.000	72	51	48	62	94
Saisonspeicher große Stadt	100%	1.000.000	14.100.000	1	300.000.000	21	30	12	18	40
Saisonspeicher Großstadt	100%	10.000.000	136.000.000	1	1.100.000.000	8	17	4,4	7,0	26



Flächen- und Raumbedarf im Technologievergleich



	Energie [TWh]	Flächen- bedarf [km ²]	Raumbedarf [km ³]	spezifische Raum- und Flächennutzung	CO2-Bilanz Mio t / Jahr
Vollversorgung aller FW-Netze mit Solarthermie (2040?)	200	700 km ²	2,7 km ³	5 MWh/m ³ (100 Jahre) 300 kWh/m ²	- 60
Biomasseanbau (2021)	80...125 43 Strom	25.000 km ²	-	< 5 kWh/m ²	- 40
Kohle + Abraum (2016)	420	-	1,02 km ³	0,41 MWh/m ³	+ 25

Vielen Dank !

*Nichts ist mächtiger als eine Idee, deren Zeit
gekommen ist.*

Victor Hugo

(1802 – 1885)

