

Überblick zur saisonalen Wärmespeicherung in Deutschland

11. EKI-Fachforum „Potenziale für Wärmespeicher in Schleswig-Holstein“ | 19.06.2018

David Sauss



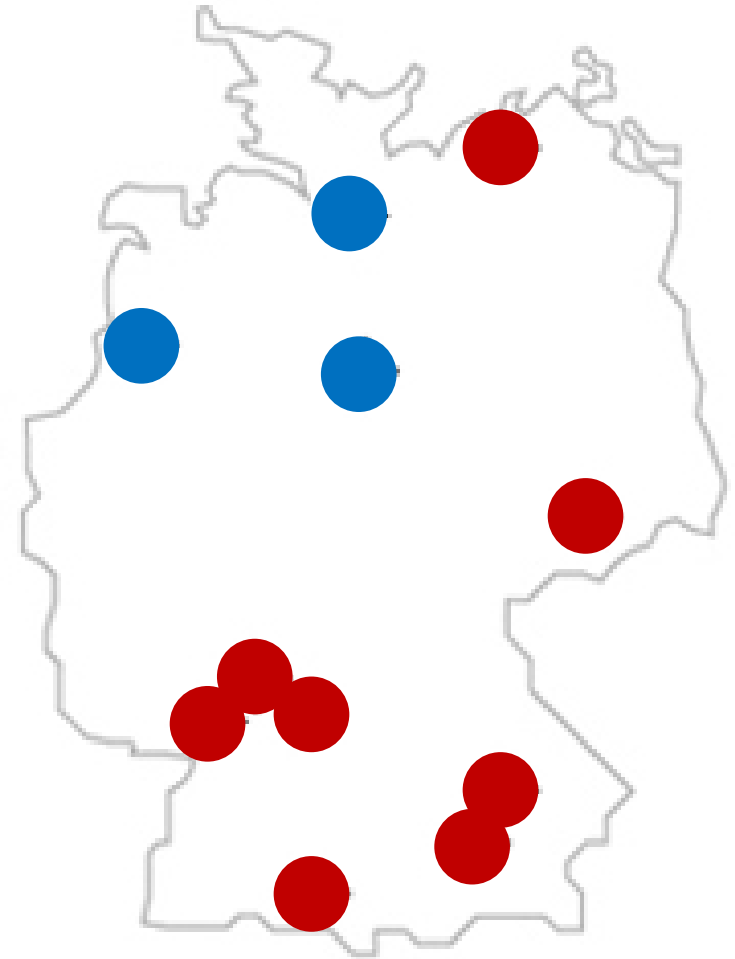
1. Einführung
2. Funktionsprinzip
3. Speichertypen
4. Beispiele Pilotanlagen
 - Hannover Kronsberg (1999)
 - Steinfurt Borghorst (1999)
 - Hamburg-Bramfeld (1996)
5. Fazit aus den Pilotanlagen
6. Zukünftige Funktionen

Einführung in die saisonale Wärmespeicherung

- Realisierung saisonaler Speicherung von Solarwärme von Sommer in den Winter erstmals vor 25 Jahren in Schweden
- 1982 Bau des ersten deutschen Speichers in Stuttgart durch das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart
- Schwerpunktmäßig in den 80ern und 90ern Untersuchungen zu Materialien und Bautechniken sowie Studien zur Wärmeversorgung von Neubausiedlungen in Deutschland
- Errichtung von *elf Pilotanlagen* in den vergangenen 20 Jahren
- Entwicklung von vier Speichertechnologien, die jeweils in mindestens einer Pilotanlage in Betrieb sind

Ziel der Forschung und Entwicklung

- Führung zur Marktbereitschaft der Saisonalspeicher-Technologien bis ca. zum Jahre 2020!

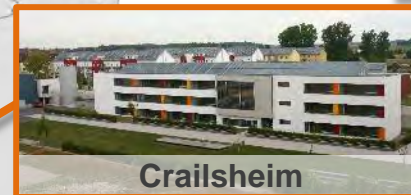
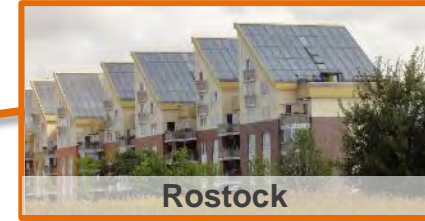


1. Einführung

Pilotanlagen solarunterstützter Nahwärme



Steinbeis-Innovationszentrum energie+



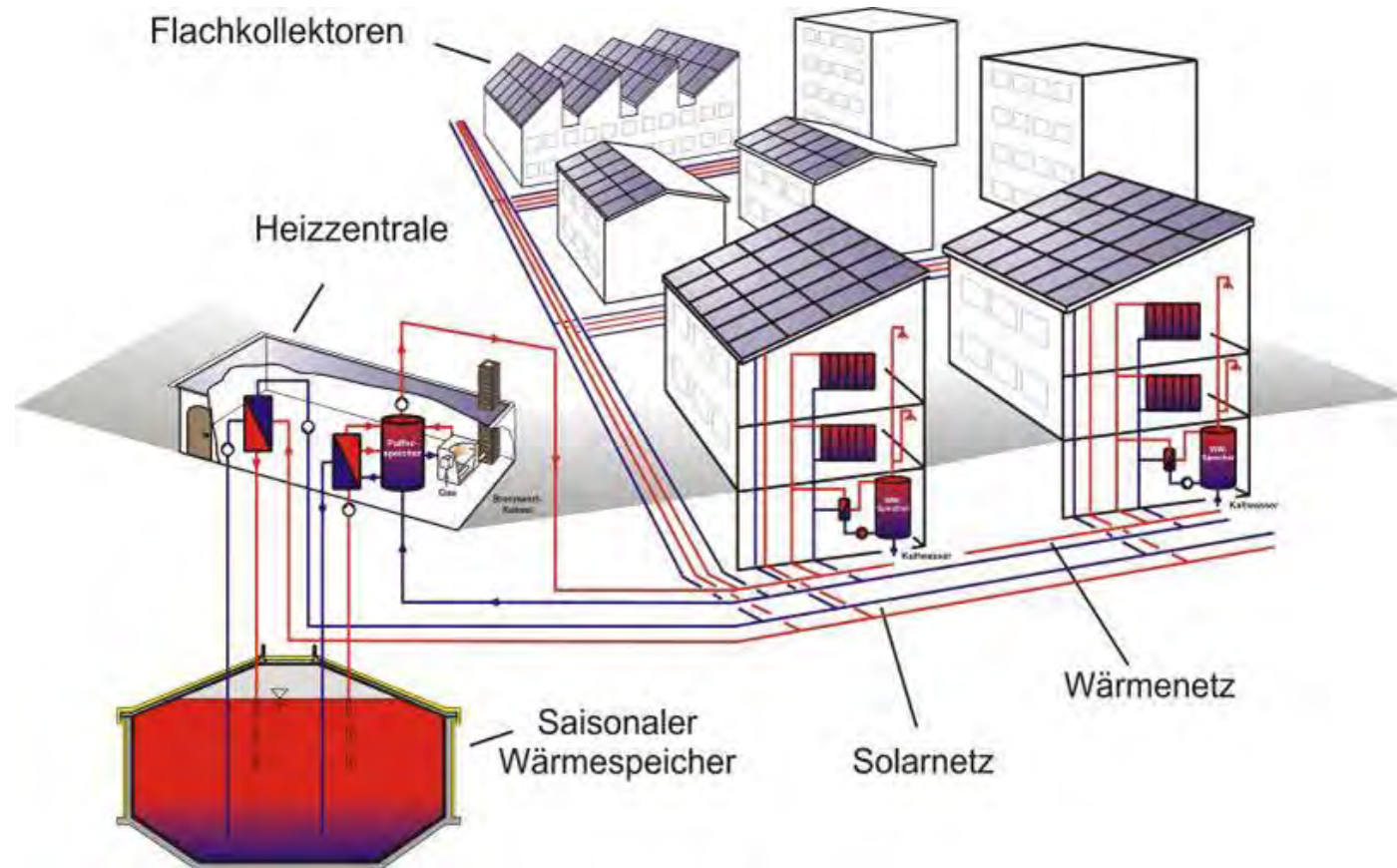
2. Funktionsprinzip

Warum saisonale Wärmespeicherung?



Anlagenschema - Solarsiedlungen mit Langzeitwärmespeicher

- prinzipiell kein wesentlicher Unterschied zu Anlagen mit Kurzzeitspeicher
- sehr viel größere Kollektorfläche und Speichervolumen erforderlich



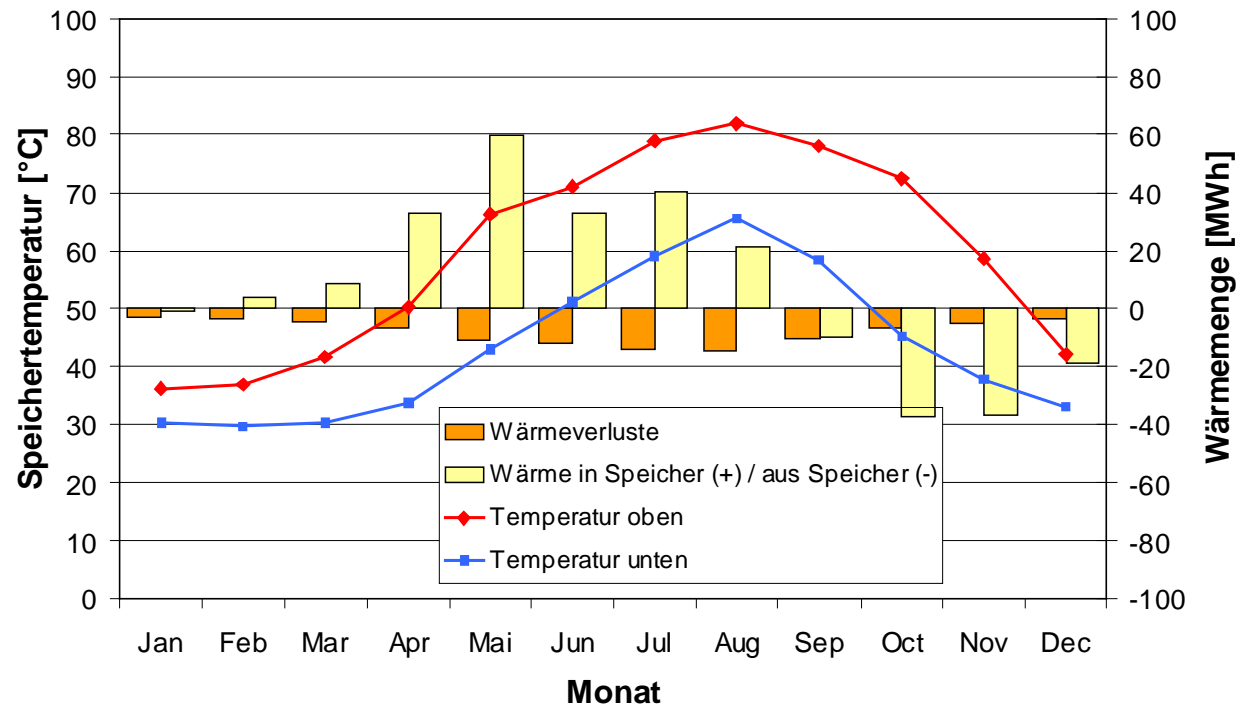
2. Funktionsprinzip

Warum saisonale Wärmespeicherung?



Wärmebilanz und Speichertemperaturen von Langzeitwärmespeichern

- ein Aufheiz- sowie ein Abkühlvorgang pro Jahr
- Beladung im Frühling und Sommer, Entladung vorwiegend im Herbst
- Temperaturdifferenz zwischen oben und unten im Speicher im Sommer am Größten

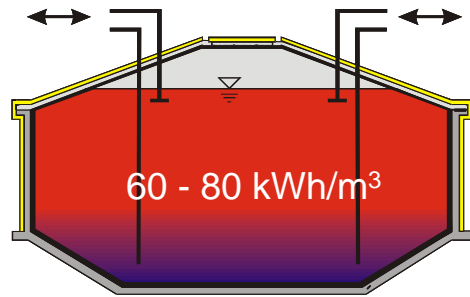


3. Speichertypen

Langzeitwärmespeichertypologien

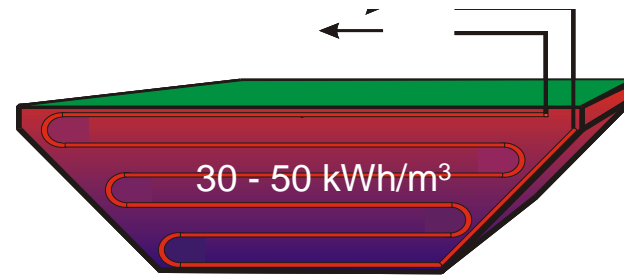


Tank-Wärmespeicher (z.B. Heißwasser-Wärmespeicher)



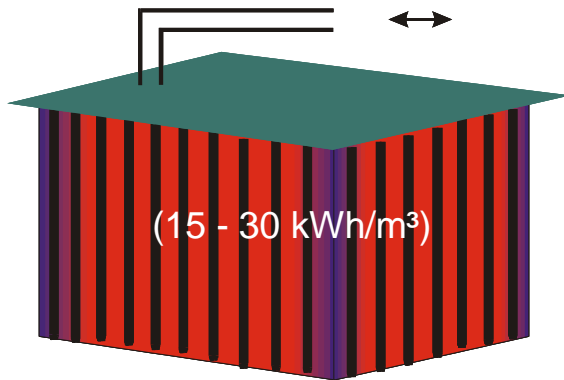
1,5 - 2,5 m³/m² FK

Erdbecken-Wärmespeicher (z.B. Kies/Wasser-Wärmespeicher)



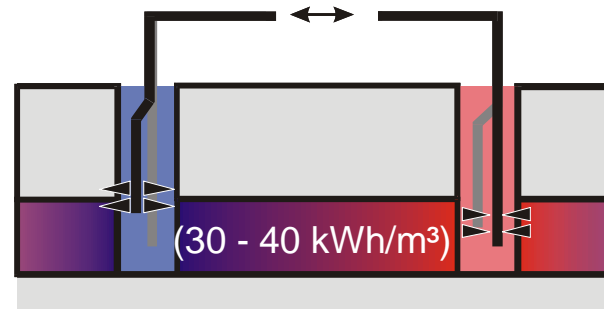
2,5 - 4 m³/m² FK

Erdsonden-Wärmespeicher



8 - 10 m³/m² FK

Aquifer-Wärmespeicher



4 - 6 m³/m² FK

3. Speichertypen

Randbedingungen Auslegung



Speichertyp, Speicherkapazität	Bodenbeschaffenheit, erforderliche Tiefe	Grundwasserstand	Hydraulische Durch- lässigkeit des Bodens
Heißwasser, 60 bis 80 kWh/m ³	gut stehend, 10 bis 15 m	möglichst kein Grundwasser	bei Grundwasser dicht, sonst keine Anforderungen
Kies/Wasser, 40 bis 50 kWh/m ³	gut stehend, 5 bis 15 m	möglichst kein Grundwasser, Fließgeschwindigkeit muss gering sein	bei Grundwasser dicht, sonst keine Anforderungen
Erdsonden, 15 bis 20 kWh/m ³	gut bohrbar, auch Fels, 25 bis 100 m je nach Speichervolumen	Grundwasser günstig, Fließgeschwindigkeit muss gering sein	bei Grundwasser dicht (k_f^{*1}) ca. 10^{-8} bis 10^{-12} m/s)
Aquifer, 30 bis 40 kWh/m ³	nach oben und unten durch dichte Schichten abgeschlossen, 20 bis 50 m mächtig	Grundwasser notwendig, Fließgeschwindigkeit muss gering sein	hohe Durchlässigkeit, $k_f > 10^{-4}$ m/s

*1) k_f Durchlässigkeitsbeiwert

3. Speichertypen

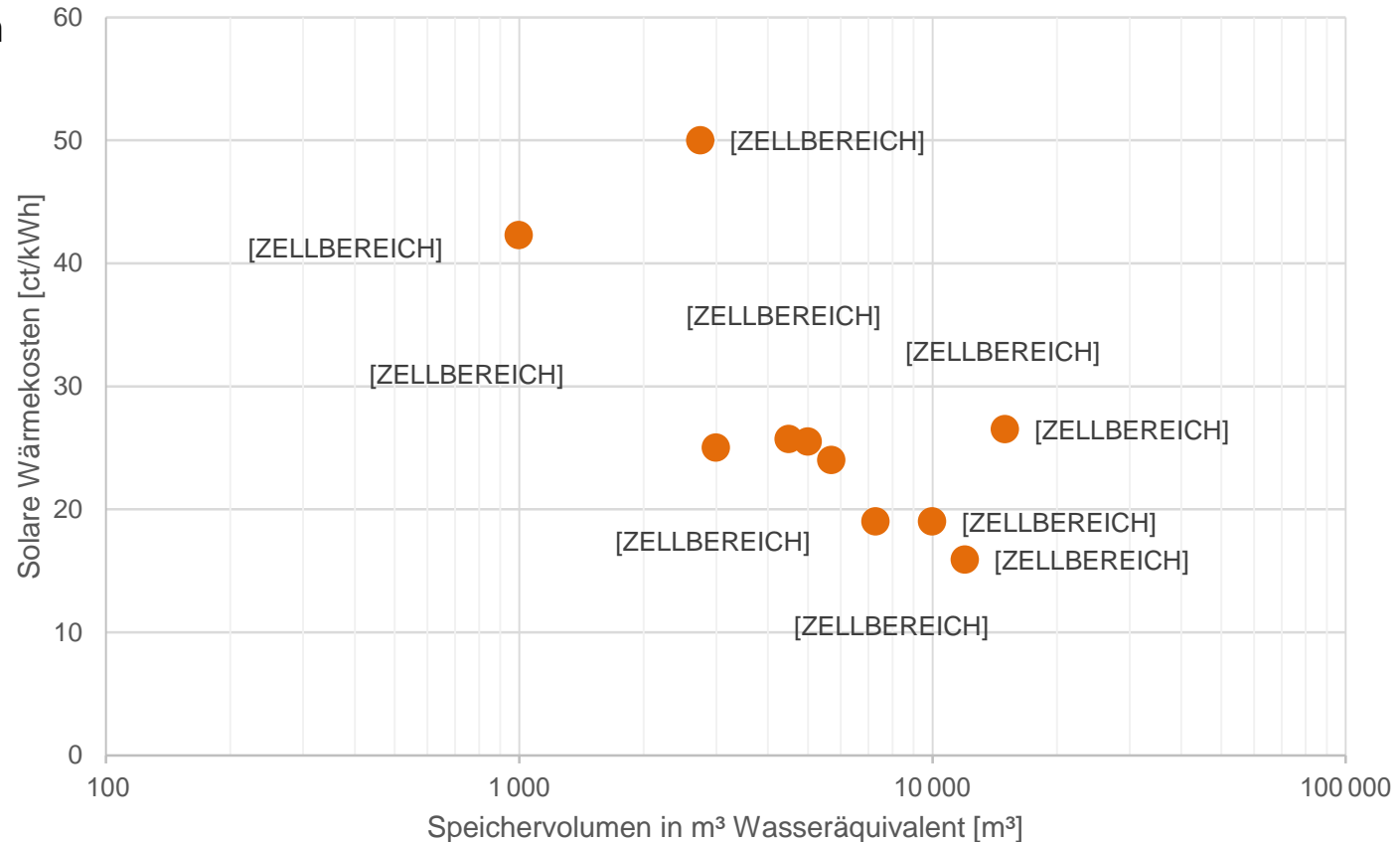
Wirtschaftlichkeit - Solare Wärmekosten



Solare Wärmekosten

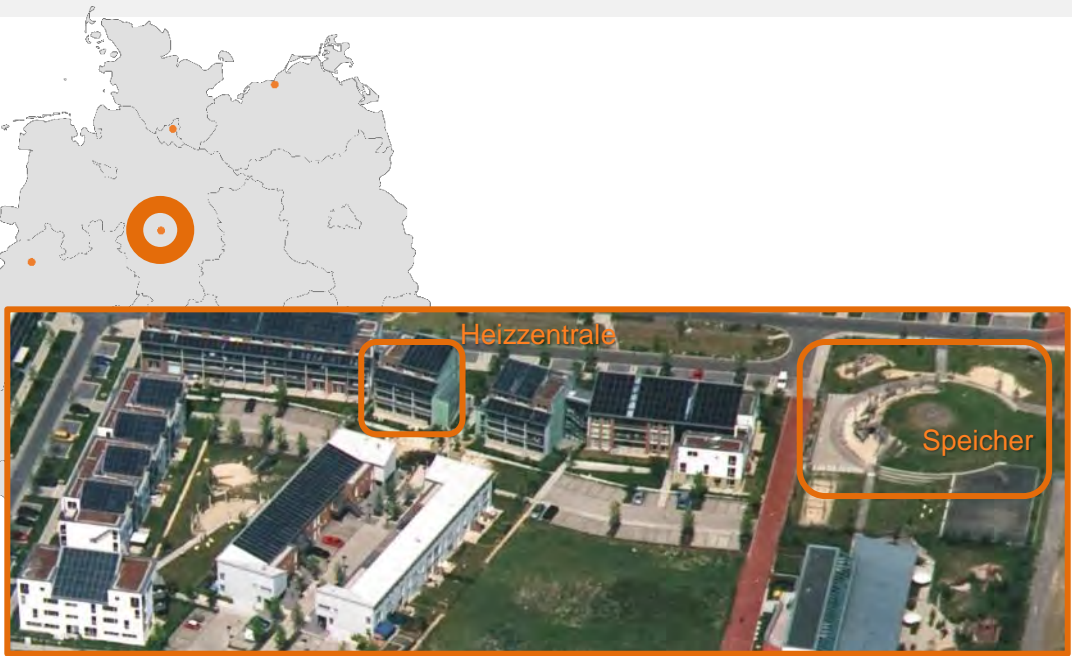
- Wärmepreise im Vergleich (ohne Förderung)
- 50 ct/kWh Hannover
- 26 ct/kWh Hamburg
- 15 ct/kWh Friedrichshafen
- 42 ct/kWh Steinfurt
- 24 ct/kWh München
- 19 ct/kWh Crailsheim

- Fazit: je größer die Anlage, desto niedriger die solaren Wärmekosten



4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)



Allgemeine Angaben

Zuständigkeit	SIZ energie+
Standort	Hannover
Baujahr / Betriebsbeginn	2000
Umbau / Optimierung	2003
Speicherart	Erdvergrabener Behälter-Heißwasserspeicher
Speichervolumen	2 750 m ³

Anlagendaten 2017

Kollektorfläche	1 631 m ² (Brutto)
Solarer Deckungsanteil	40 %
Speicheraufbau	Gedämmter Hochleistungs-beton (HLB B 85)
Temperaturniveau Netz (VL / RL)	70 / 39 °C
Zusatzsysteme	Fernwärme (400 kW)

Wohnsiedlung

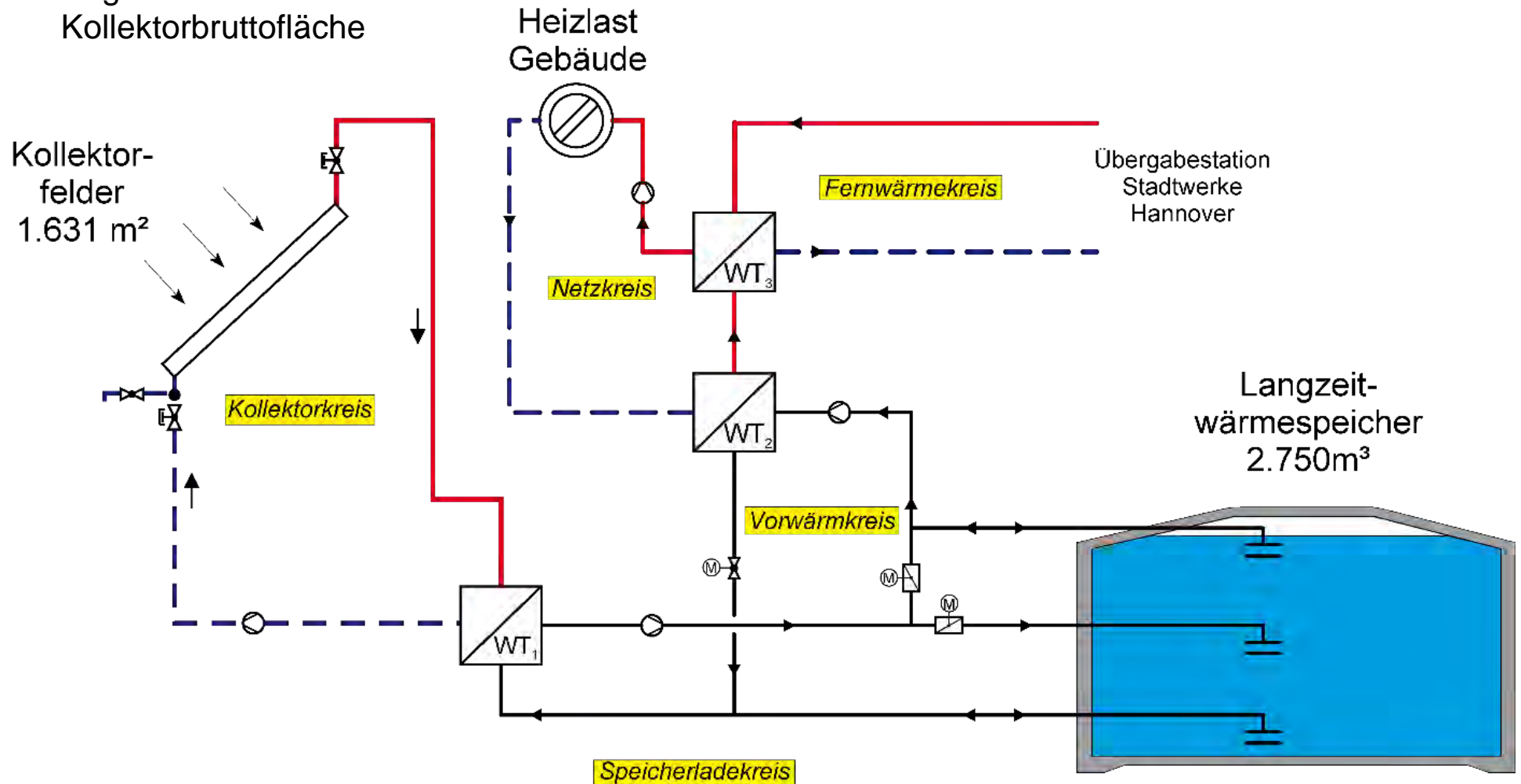
Gebäudetyp	8 MFH
Wohneinheiten	106 WE
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	8 449 m ²
Flächenspez. Wärmebedarf	83 kWh/m ² a
Gesamtwärmebedarf inkl. Netzverluste	703 MWh/a
Trassenlänge	1025 m

4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

Anlagenschema

- Angabe der Kollektorbruttogröße



4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

Kollektorfelder

- Integration der Kollektorfelder mit einer Aperturfläche von 1.473 m² auf den südwestlich und südöstlich ausgerichteten Dächern der Wohngebäude (1.631 m² Bruttokollektorfläche)
- Insgesamt 13 Teilfelder (Größe 40 bis 310 m²)
- Ausführung als "Solar-Roofs" → Ausnutzung der Dachfläche bis 90%
- Fertigung der bis zu 12 m langen Kollektormodule im Werk der Firma S.E.T. (Solar Energie-Technik GmbH, plambeck Gruppe)



- Montage der Kollektordächer auf bestehende Notdächer aufgrund des fortgeschrittenen Bauablaufs → somit keine Kosteneinsparungen

4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

Speicher im Bau und nach Fertigstellung

- Speicherinnenmaße: maximale Höhe: 11 m
Durchmesser: 19 m
- Speichervolumen: 2.750 m³

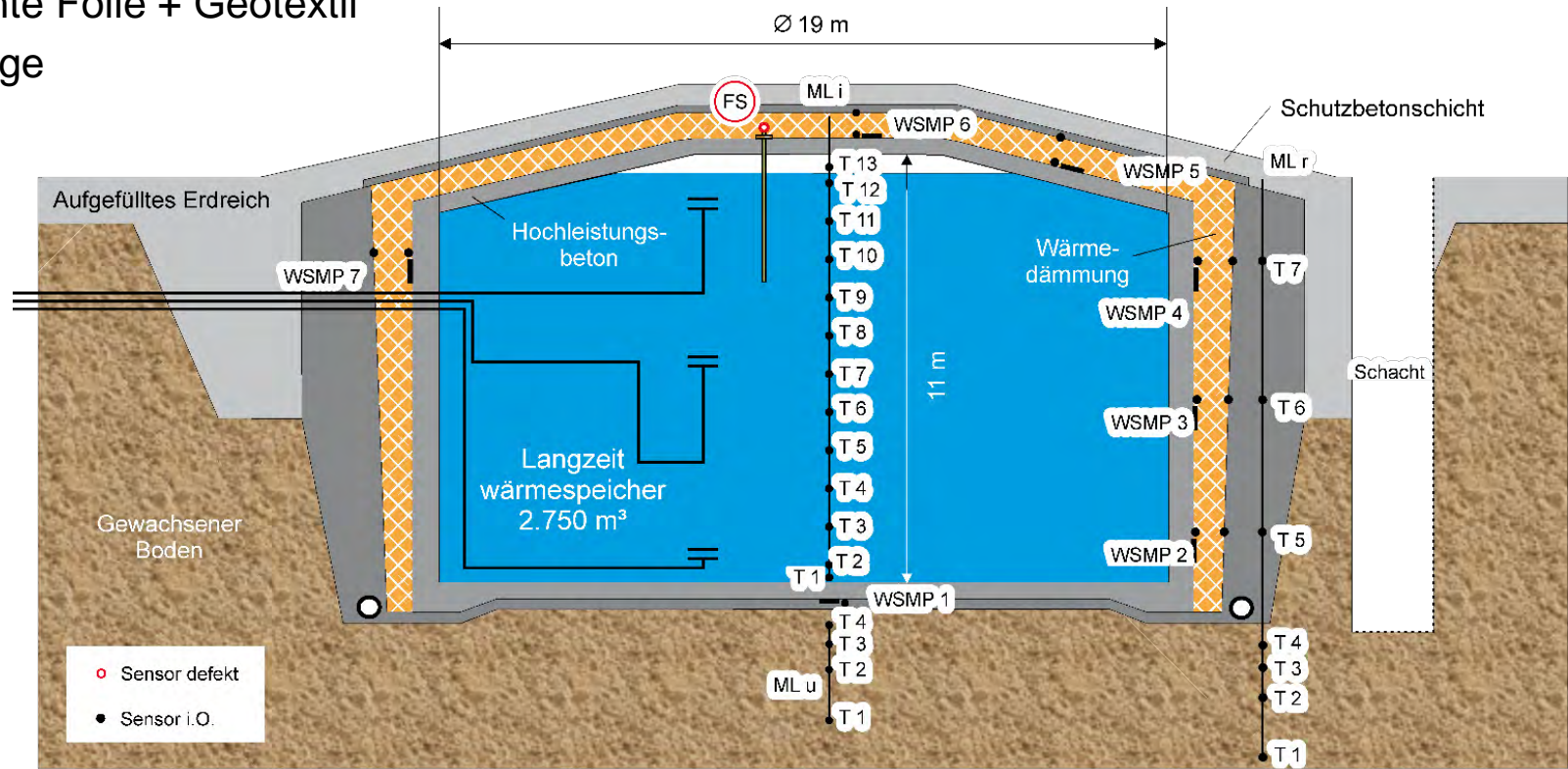


4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

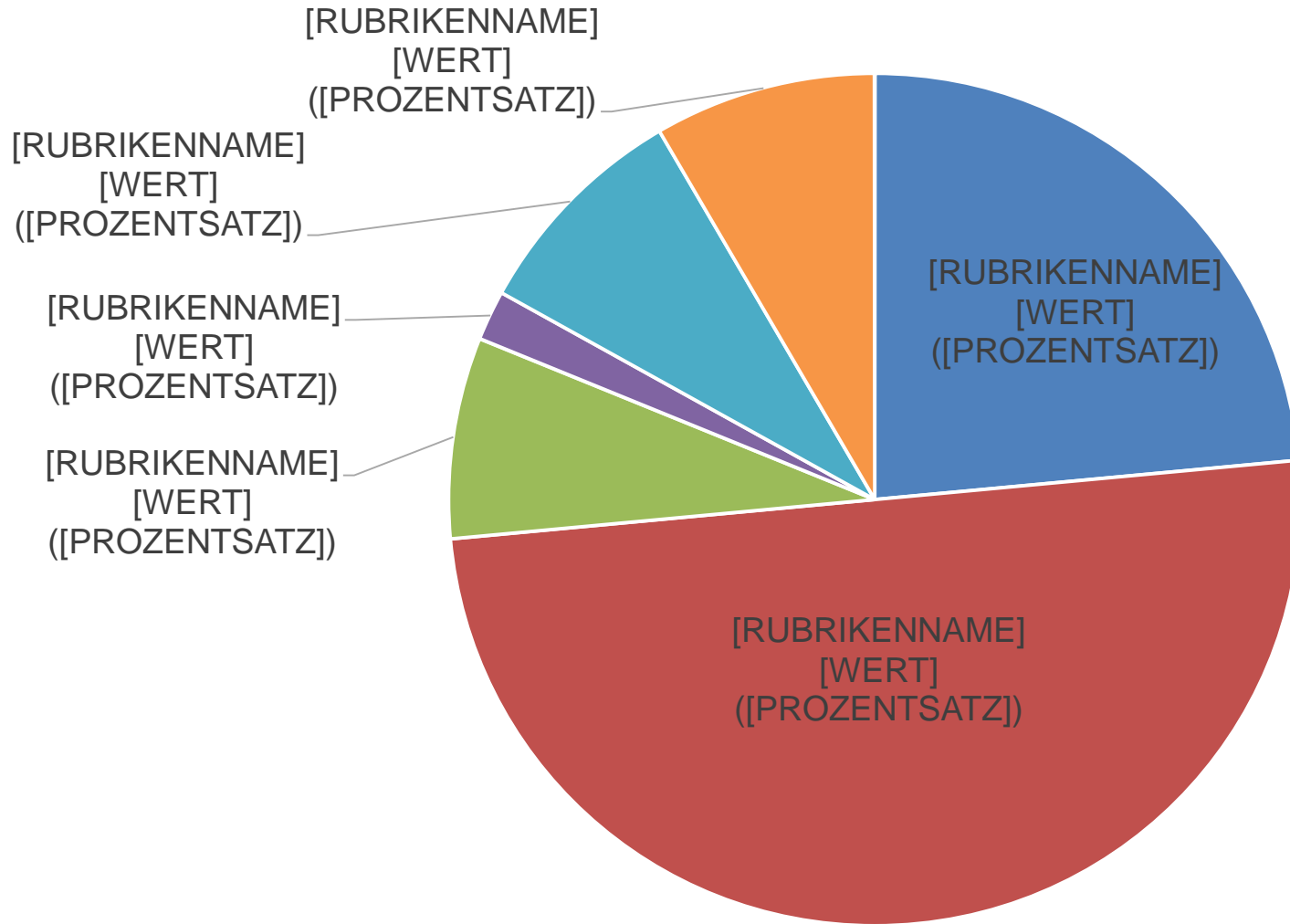
Speicheraufbau

- Wandaufbau (innen nach außen):
 - Hochleistungsbeton (30 cm)
 - Dampfdiffusionssperre
 - Dämmung (in Säcken) Blähglasgranulat
 - wasserdichte Folie + Geotextil
 - Kiesdrainage



4. Beispiele Pilotanlagen

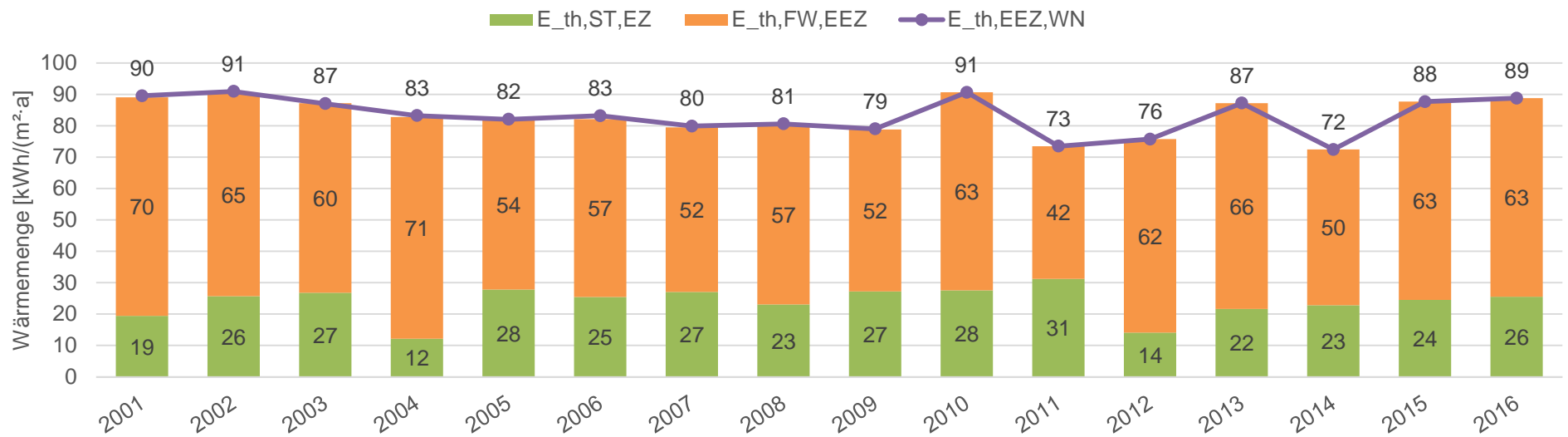
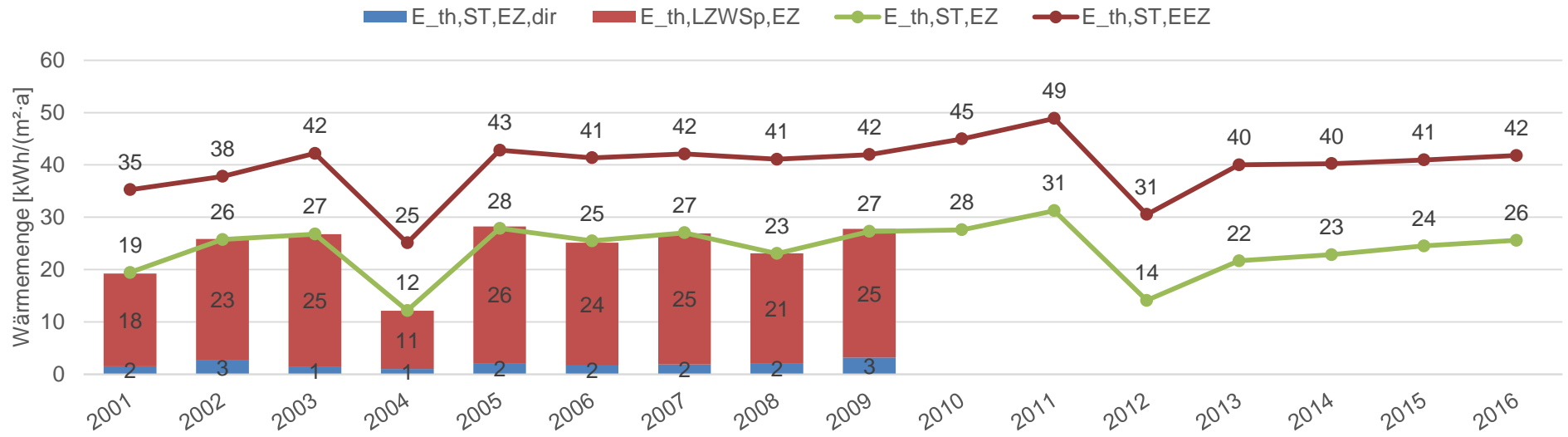
Hannover-Kronsberg (Solarcity)



Kostenverteilung ohne Berücksichtigung einer Förderung

4. Beispiele Pilotanlagen

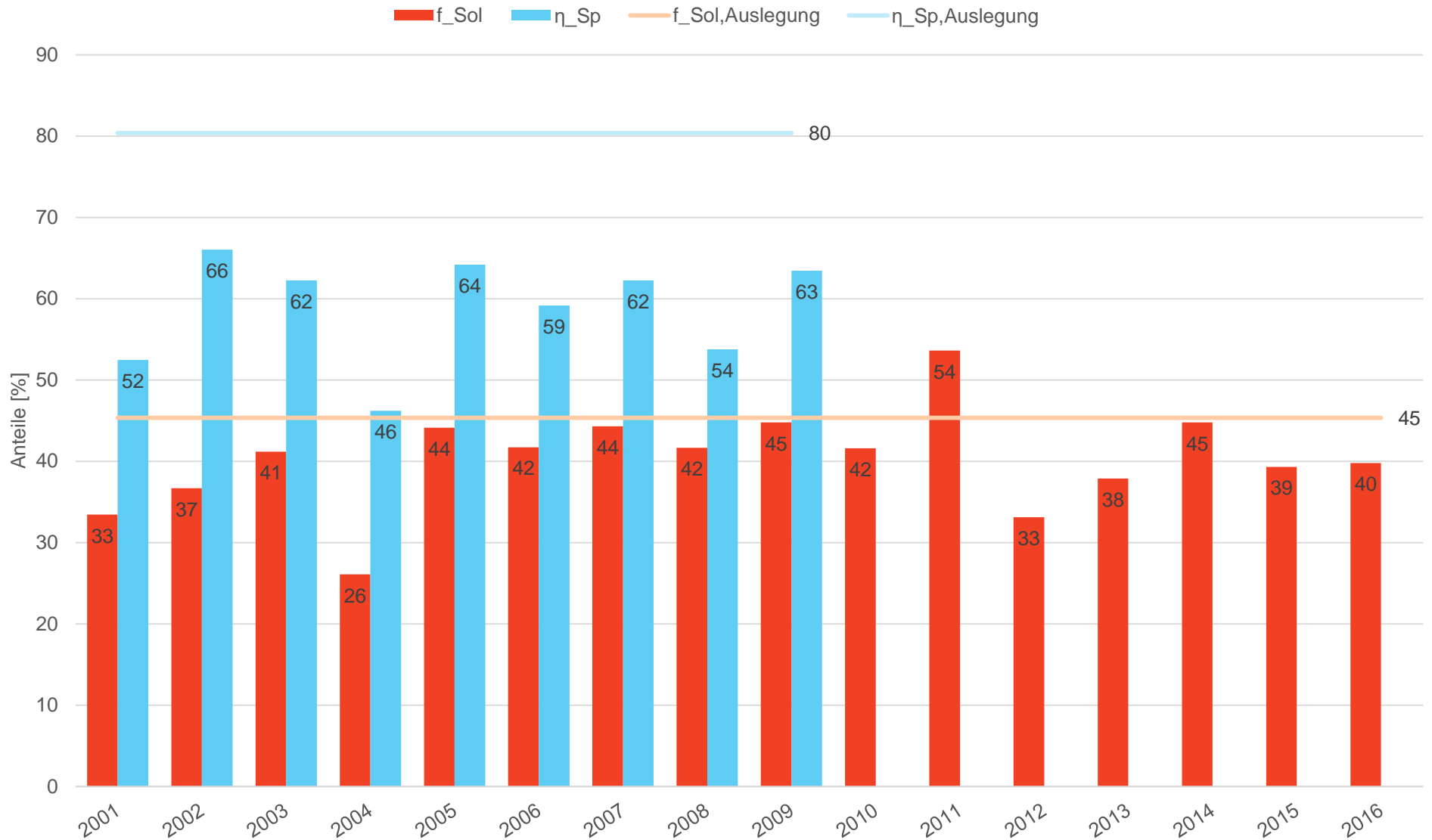
Hannover-Kronsberg (Solarcity)



Bezogen auf Nutzfläche nach EnEV (A_N)

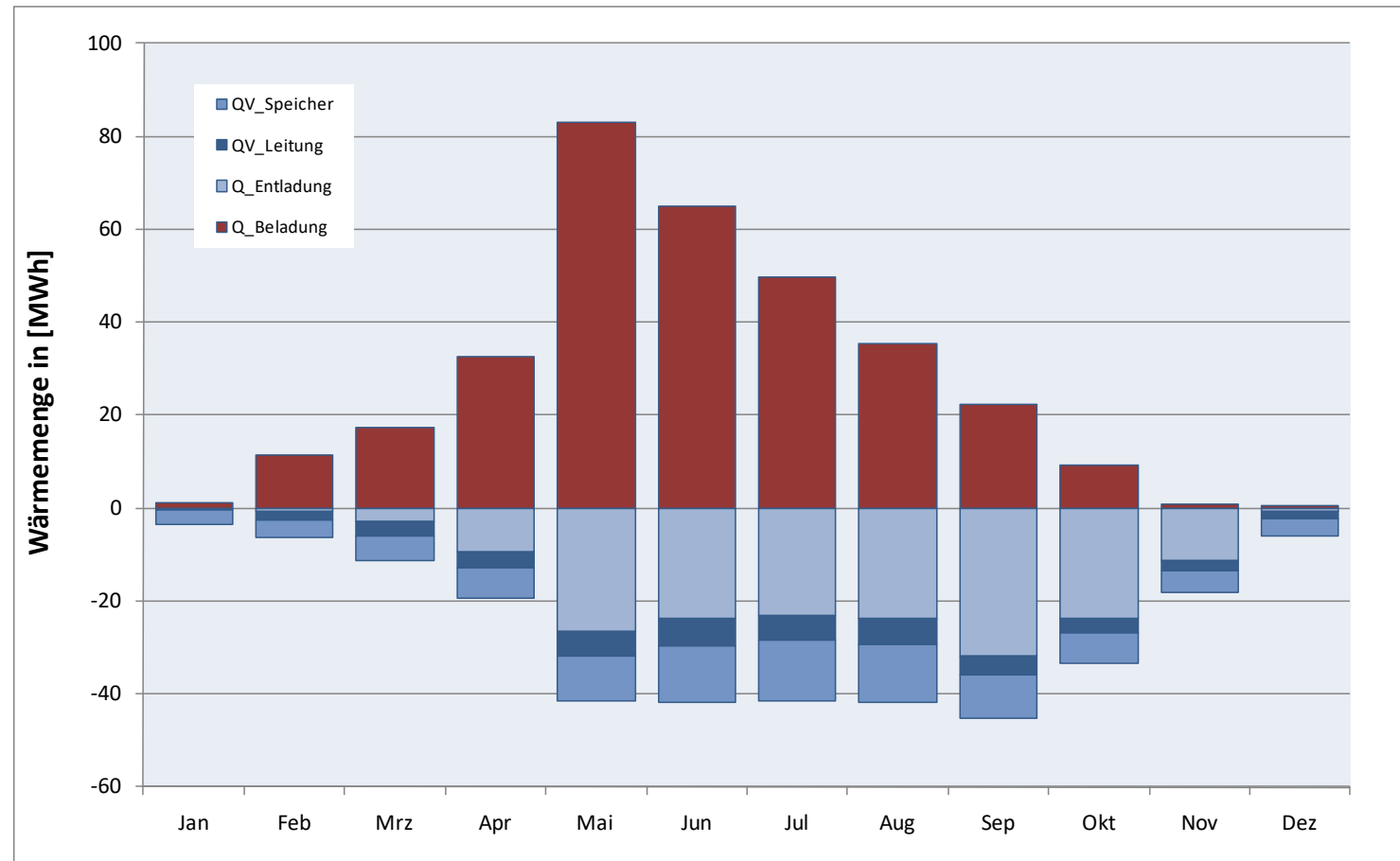
4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

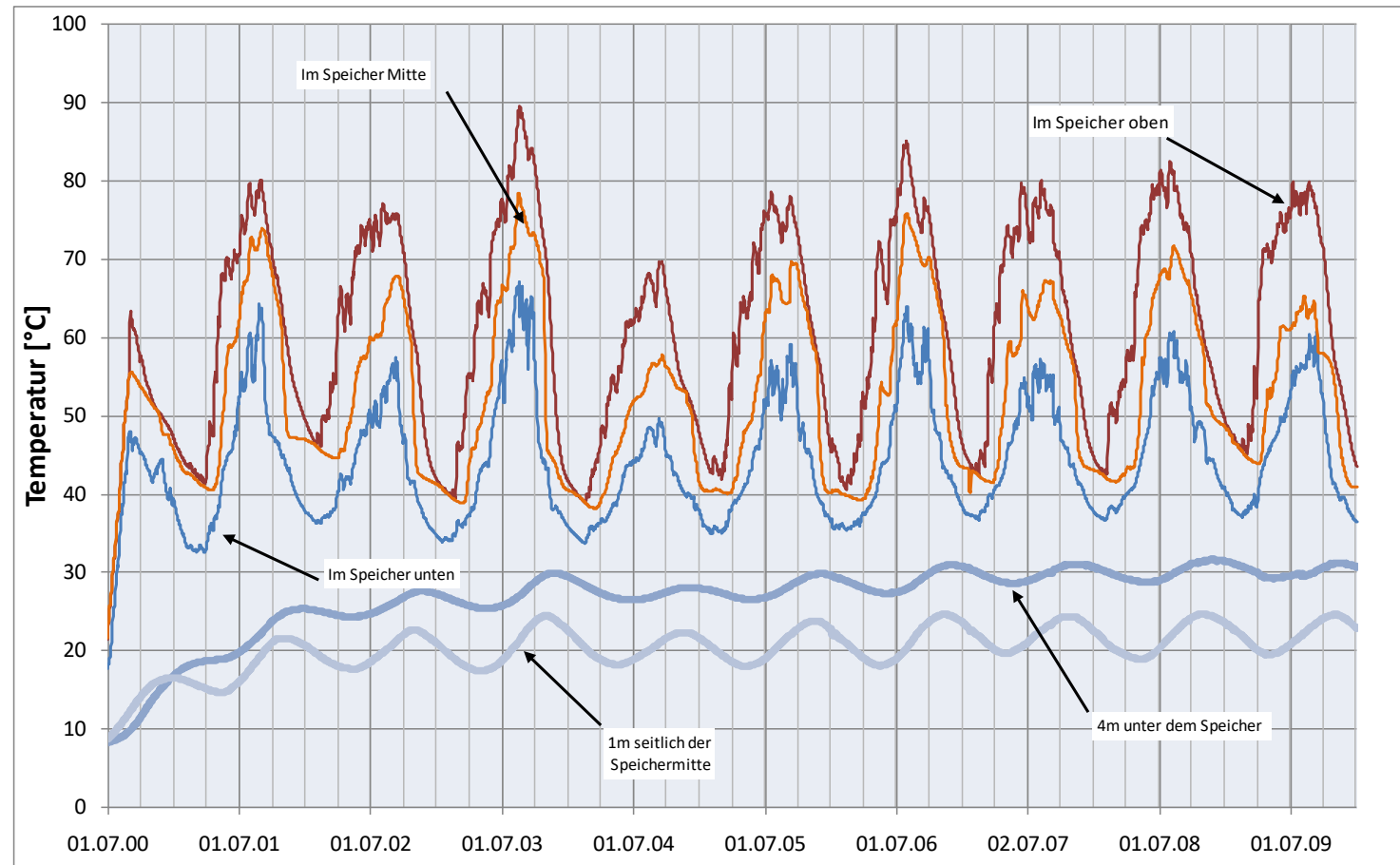


Wärmebilanz des Langzeit-Wärmespeichers 2008

- 329 MWh Beladung
- 177 MWh Entladung
- 132 MWh Verluste (90 MWh Speicher-
verluste; 42 MWh Anschlussleitung)
- 15 MWh Mehrinhalt
- 57% Speicher-
nutzungsgrad (im Mittel 70%)
- um 4 K höhere Netz-
rücklauftemperatur



Temperaturen innerhalb und außerhalb des Wärmespeichers



4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

Solaranlage

- Kollektorertrag mit ca. 230 kWh/m²a (**15% geringer** als erwartet)
- Qualität der Kollektoren mangelhaft (Kondensatanfall, Undichtheiten der Felder und Anschlüsse, lose Profile und Traufbleche)
- Zugänglichkeit zu den Kollektoren nicht immer gegeben

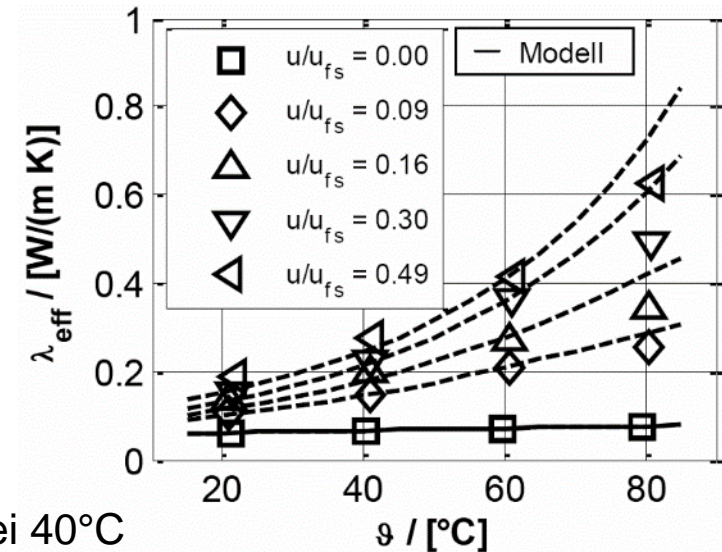


Speicher

- Speicherwärmeverluste mit 87 MWh/a ca. **20% größer** als Planwert von 69 MWh/a
- Speichernutzungsgrad ca. 67% → Planung 80%
- Wasserverluste im Bereich von 4 bis 5 m³/a
- Beladung in zwei Ebenen hat sich bewährt

Gesamtsystem

- Deckungsanteil bei **42%** (Auslegung 45%)
- Netzurücklauftemperatur im Sommer bei 50-52°C im Winter bei 40°C
- Gesamteinspeisung Solarwärme ins Netz ca. 145 kWh/m²a (-25%)



Quelle: ITW Stuttgart 2008

4. Beispiele Pilotanlagen

Steinfurt-Borghorst



Allgemeine Angaben

Standort	Steinfurt
Baujahr / Betriebsbeginn	1999
Umbau / Optimierung	2010
Speicherart	Erdvergrabenes Kies/Wasser-Speicherbecken
Speichervolumen	1 500 m ³

Anlagendaten 2017

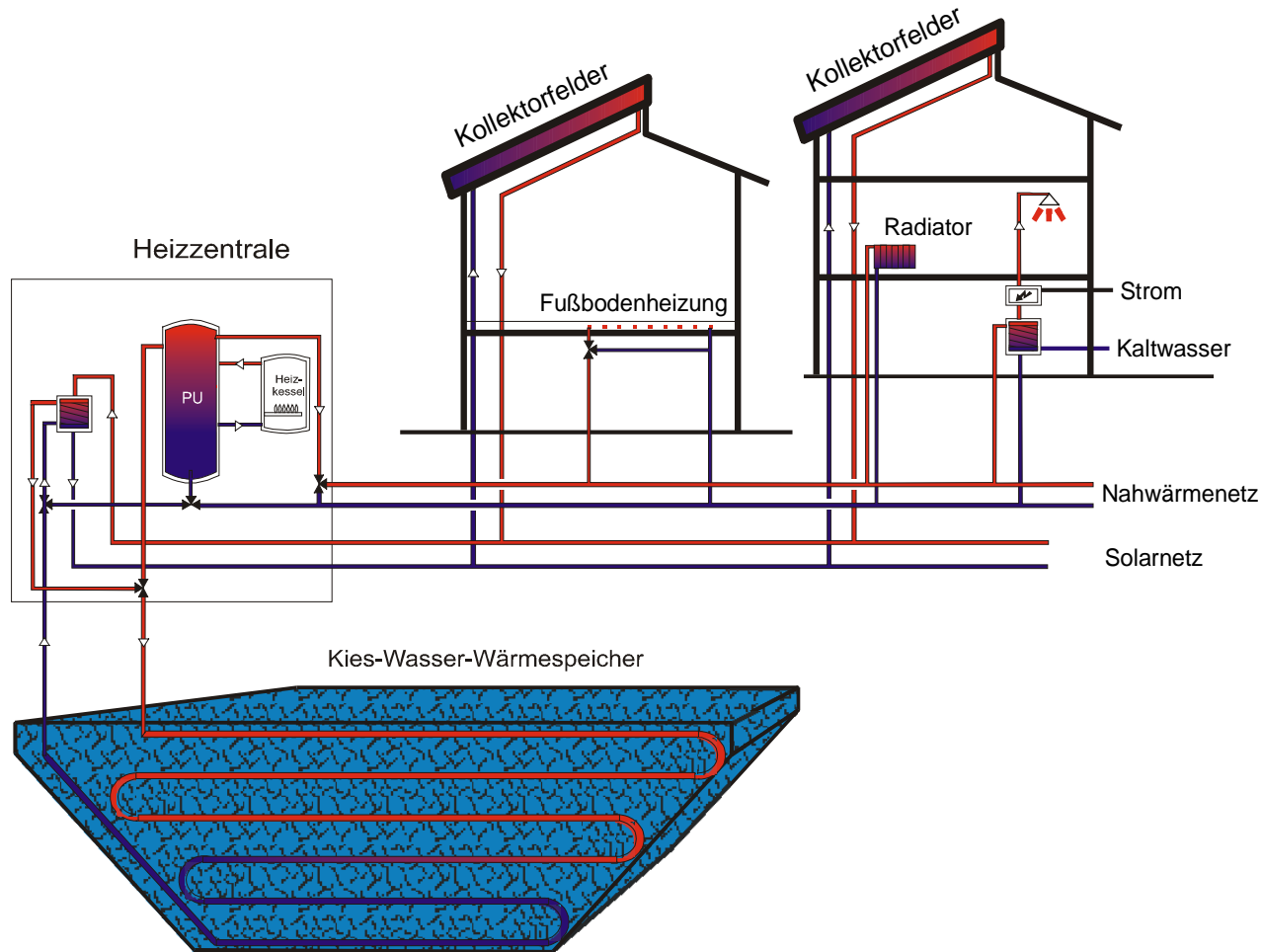
Kollektorfläche	487 m ² (Brutto)
Solarer Deckungsanteil	48 %
Speicheraufbau	Mit Dämmmaterial ausgekleideter Pyramidenstumpf
Temperaturniveau Netz (VL / RL)	45 / 25 °C
Zusatzheizsysteme	200 kW Gas-Brennwertkessel 40 kW Absorptionswärmepumpe

Wohnsiedlung

Gebäudetyp	11 RH, 4 DH, 7 MFH
Wohneinheiten	42 WE
Nutzfläche nach EnEV (A _N)	4 554 m ²
Flächenspez. Wärmebedarf	70 kWh/(m ² ·a)
Gesamtwärmebedarf inkl. Netzverluste	318 MWh/a
Trassenlänge	649 m

Integrales Energiekonzept

- Niedrig- bzw. Niedrigstenergie-Bauweise
- passive Solarenergienutzung
- kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung
- Solaranlage für Heizung und Warmwasserbereitung
- Niedertemperatur-Nahwärmenetz 45°C



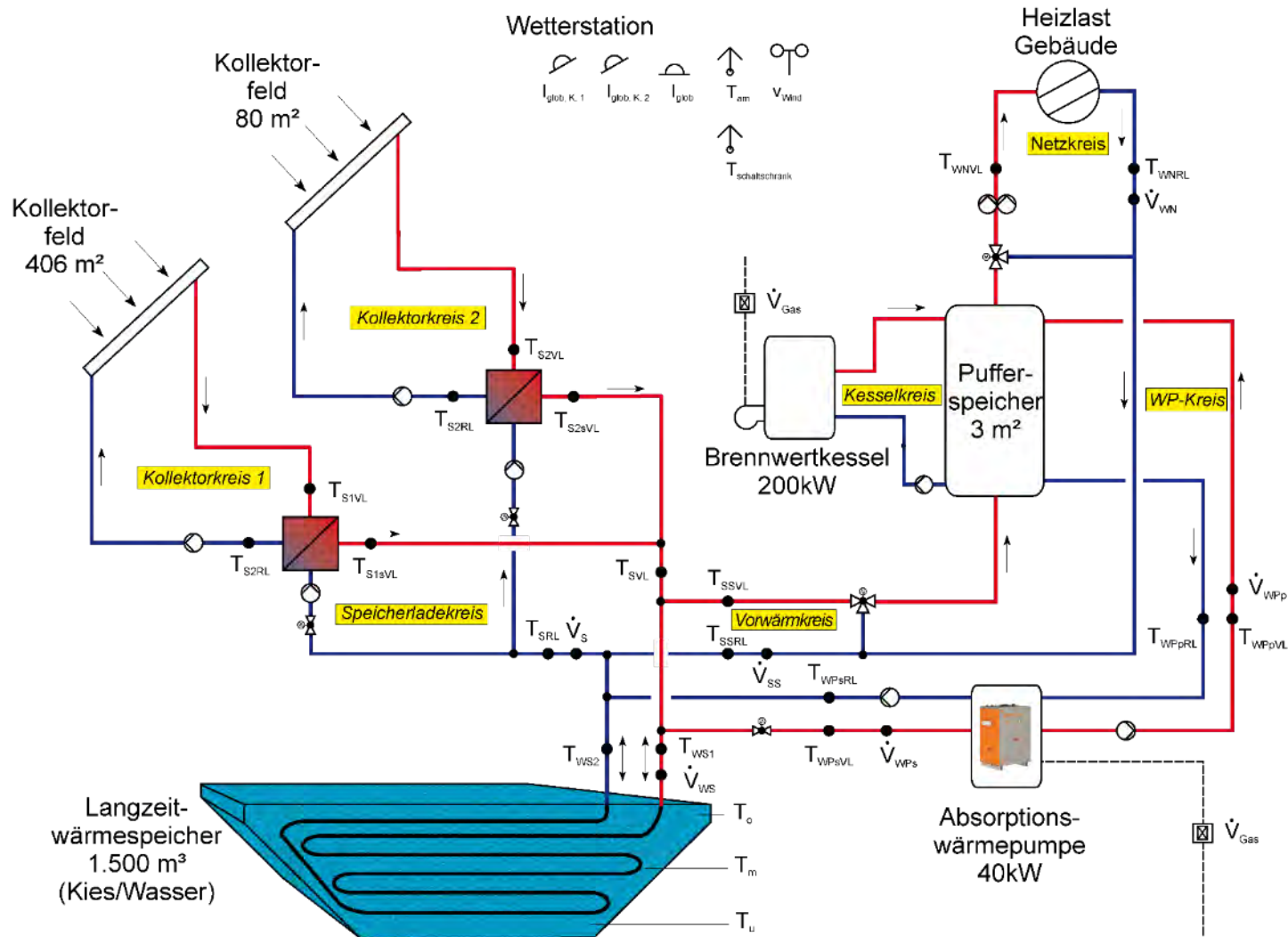
4. Beispiele Pilotanlagen

Steinfurt-Borghorst

Speicher im Bau

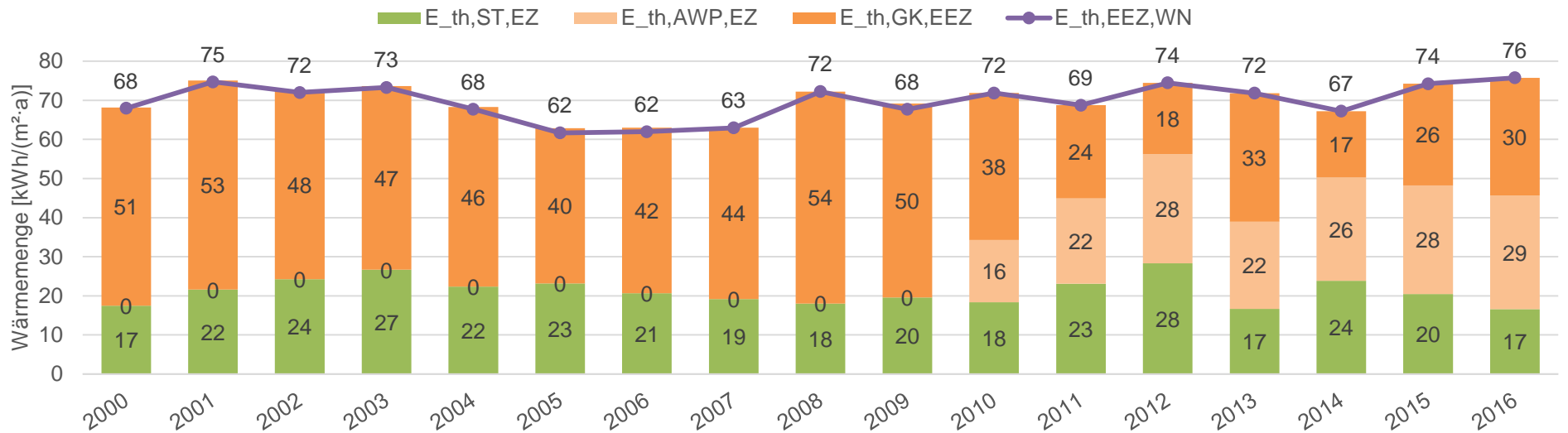
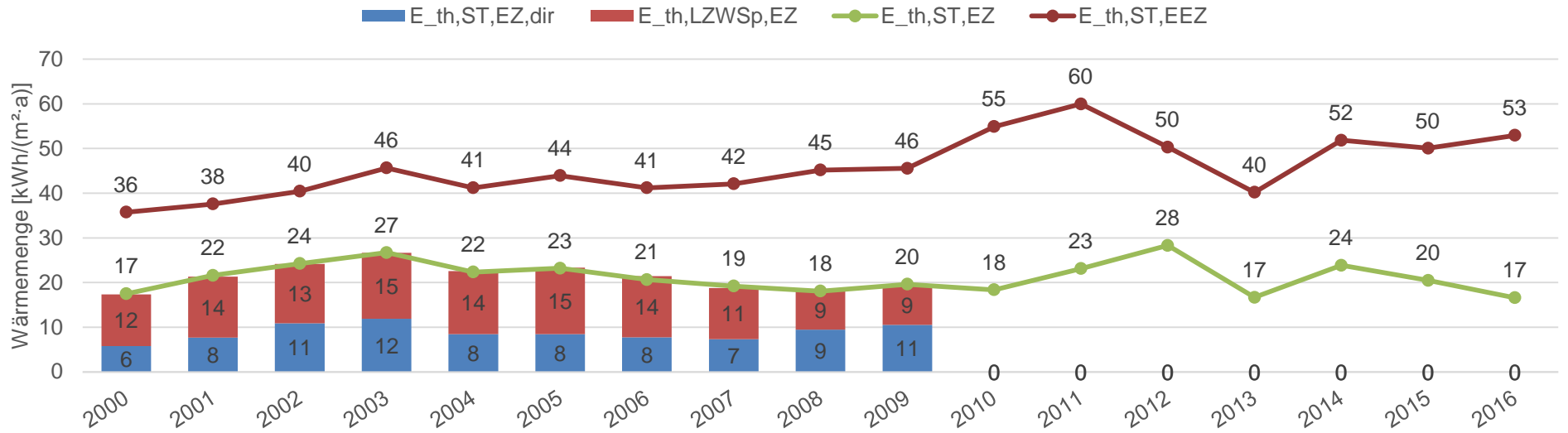


Anlagenschema nach Einbau einer Gas-Absorptionswärmepumpe im Jahr 2010



4. Beispiele Pilotanlagen

Steinfurt-Borghorst



Bezogen auf Nutzfläche nach EnEV (A_N)

4. Beispiele Pilotanlagen

Hannover-Kronsberg (Solarcity)

Solaranlage

- Kollektorertrag mit ca. 370 kWh/m²a (**15% höher** als erwartet)
- bisher nahezu störungsfreier Betrieb
- keine Mängel an den Kollektoren erkennbar

Speicher

- Speicherwärmeverluste liegen **doppelt so hoch** wie Prognose
- Speichernutzungsgrad im Mittel bei ca. 40% (Planung 70%)
- Ursache:
 - Durchfeuchtung der Wärmedämmung infolge mehrerer Störfälle der Drainagepumpenanlage
 - höher Wärmeverluste über das abzupumpende Grund- und Schichtenwasser
- bisher keine merklichen Wasserverluste

Gesamtsystem

- Deckungsanteil bei **38%** (Auslegung 39%)
- Gesamteinspeisung Solarwärme ins Netz ca. 190 kWh/m²a
- Das sind ungefähr 10% weniger als erwartet



4. Beispiele Pilotanlagen

Hamburg-Bramfeld



Allgemeine Angaben

Standort	Steinfurt
Baujahr / Betriebsbeginn	1996 - 1999
Umbau / Optimierung	2010
Speicherart	Erdvergrabener Behälter-Heißwasserspeicher
Speichervolumen	4 500 m ³

Anlagendaten

Kollektorfläche	3 300 m ² (Brutto)
Solarer Deckungsanteil	49 %
Speicheraufbau	Betonspeicher mit Edelstahlaukleidung
Temperaturniveau Netz (VL / RL)	70 / 30 °C
Zusatzheizsysteme	Gas-NT-Kesselanlage 500 kW und 200 kW

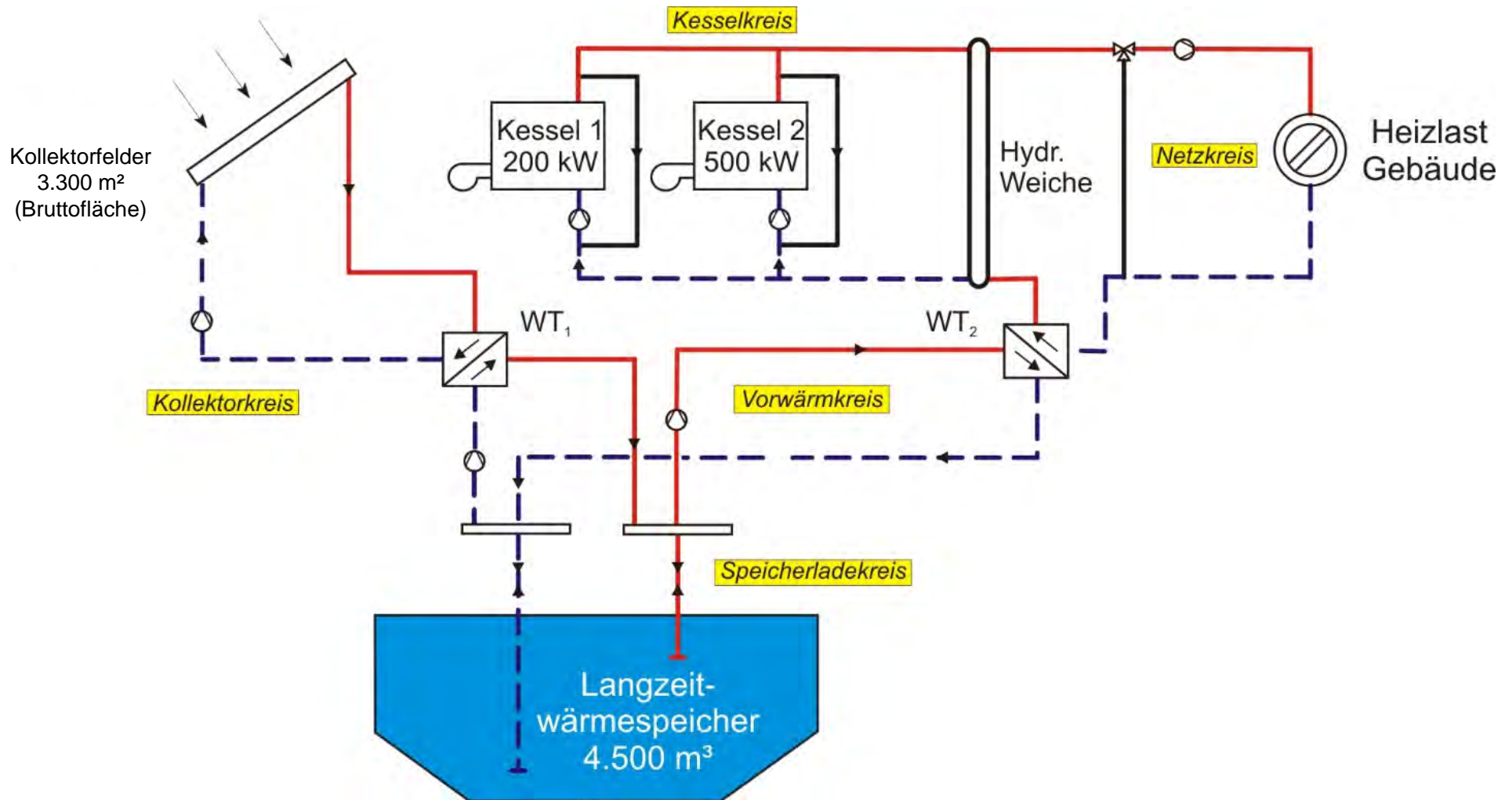
Wohnsiedlung

Gebäudetyp	124 RH
Wohneinheiten	124 WE
Wohnfläche	14 800 m ²
Flächenspez. Wärmebedarf	109 kWh/(m ² ·a)
Gesamtwärmebedarf inkl. Netzverluste	1 610 MWh/a
Trassenlänge	1 800 m

4. Beispiele Pilotanlagen

Hamburg-Bramfeld

Anlagenschema vor dem Umbau im Jahr 2010/2011



4. Beispiele Pilotanlagen

Hamburg-Bramfeld



Speicher im Bau

- Speichervolumen 4.500 m³
- Edelstahl-
auskleidung
- Dämmung mit
hochdruckfester
Mineralwolle
- Abdichtung aus
dem Deponiebau

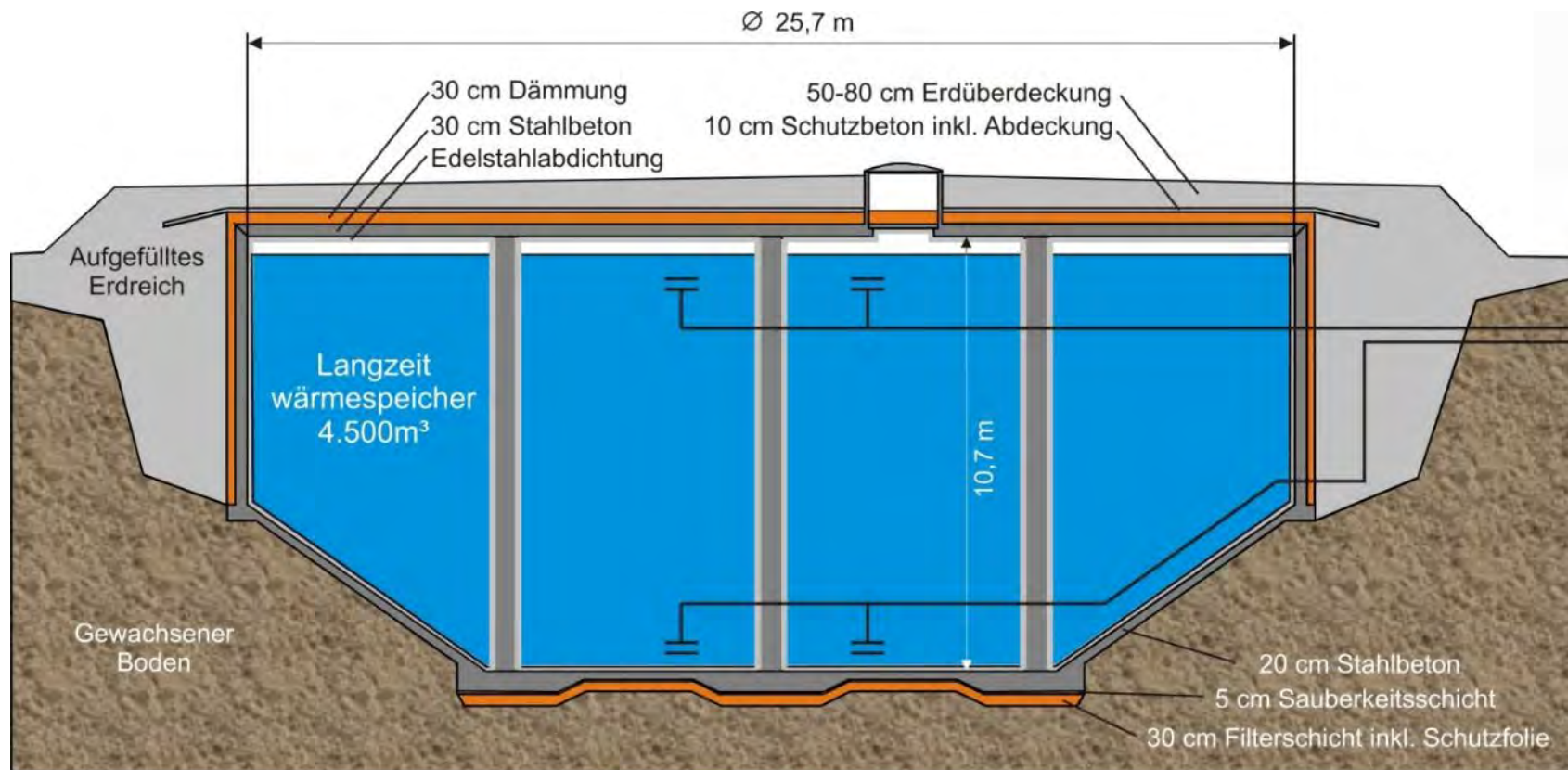
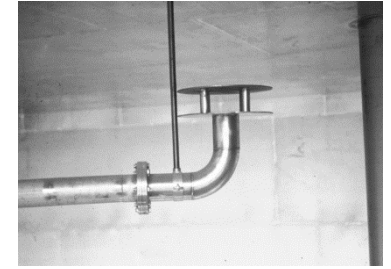


4. Beispiele Pilotanlagen Hamburg-Bramfeld



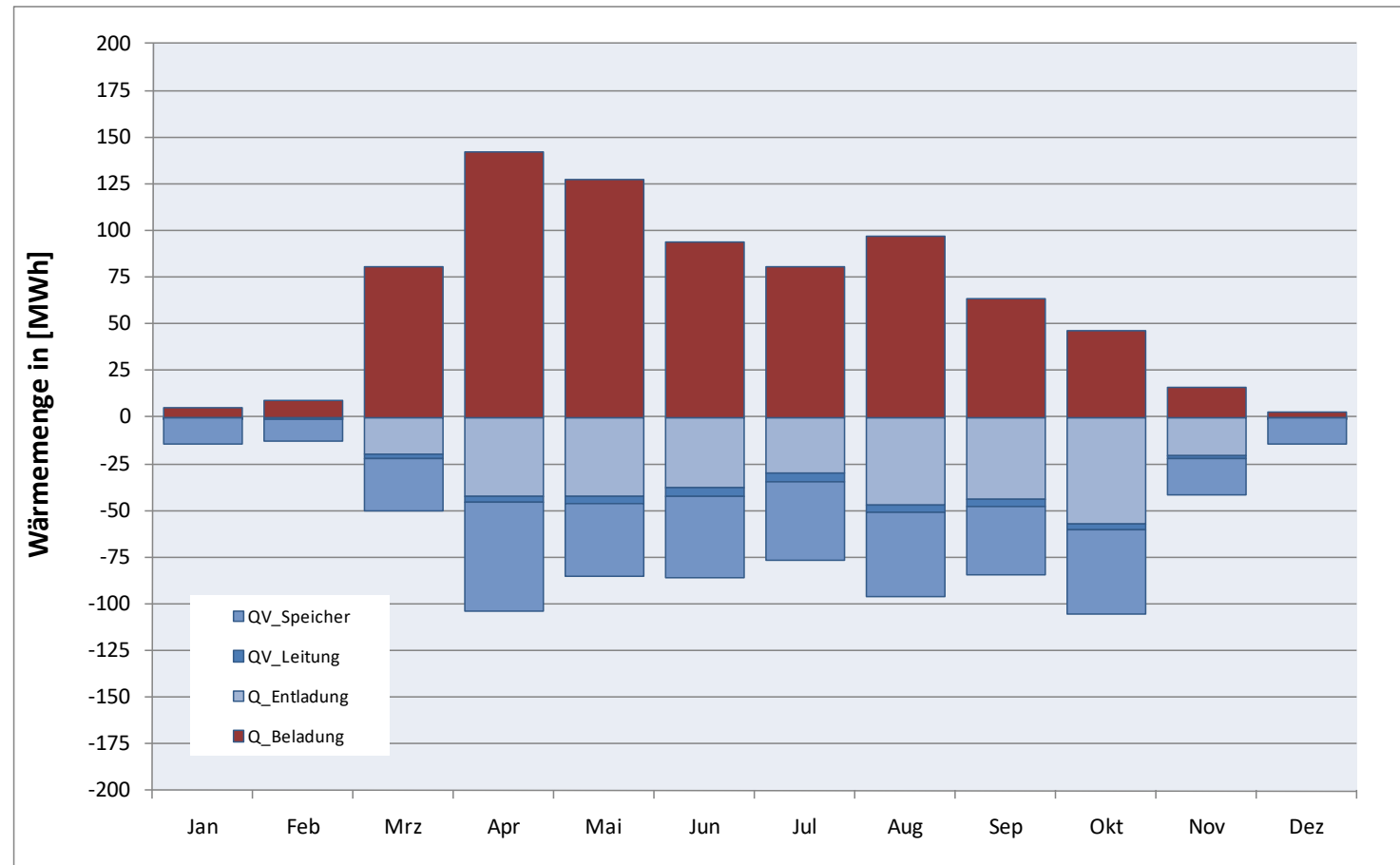
Speicherschnitt

- Speichervolumen 4.500 m³

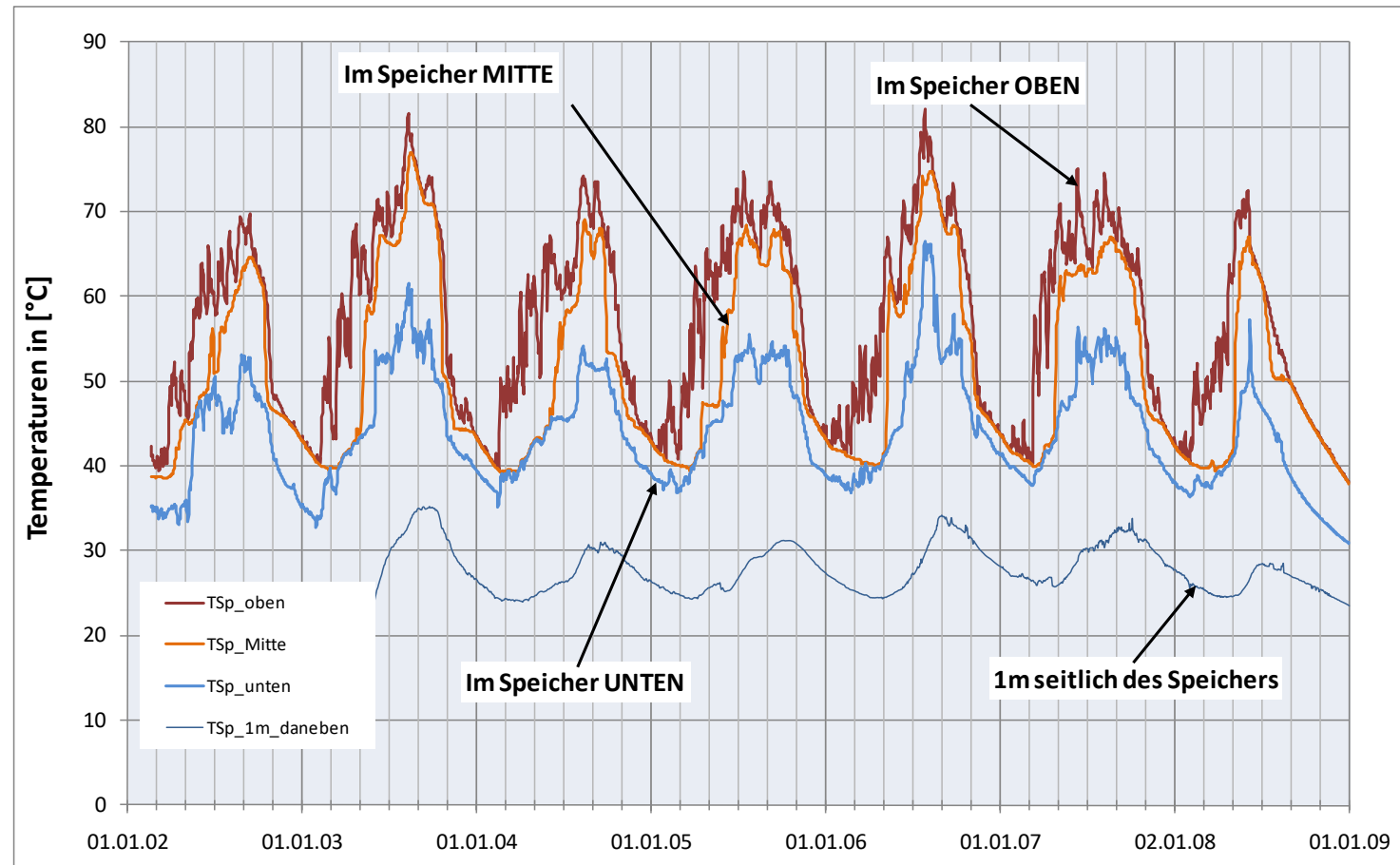


Wärmebilanz des Langzeit-Wärmespeichers 2007

- 763 MWh Beladung
- 342 MWh Entladung
- 429 MWh Verluste (397 MWh Speicher-
verluste; 32 MWh
Anschlussleitung)
- -9 MWh Minderinhalt
- 45% Speicher-
nutzungsgrad

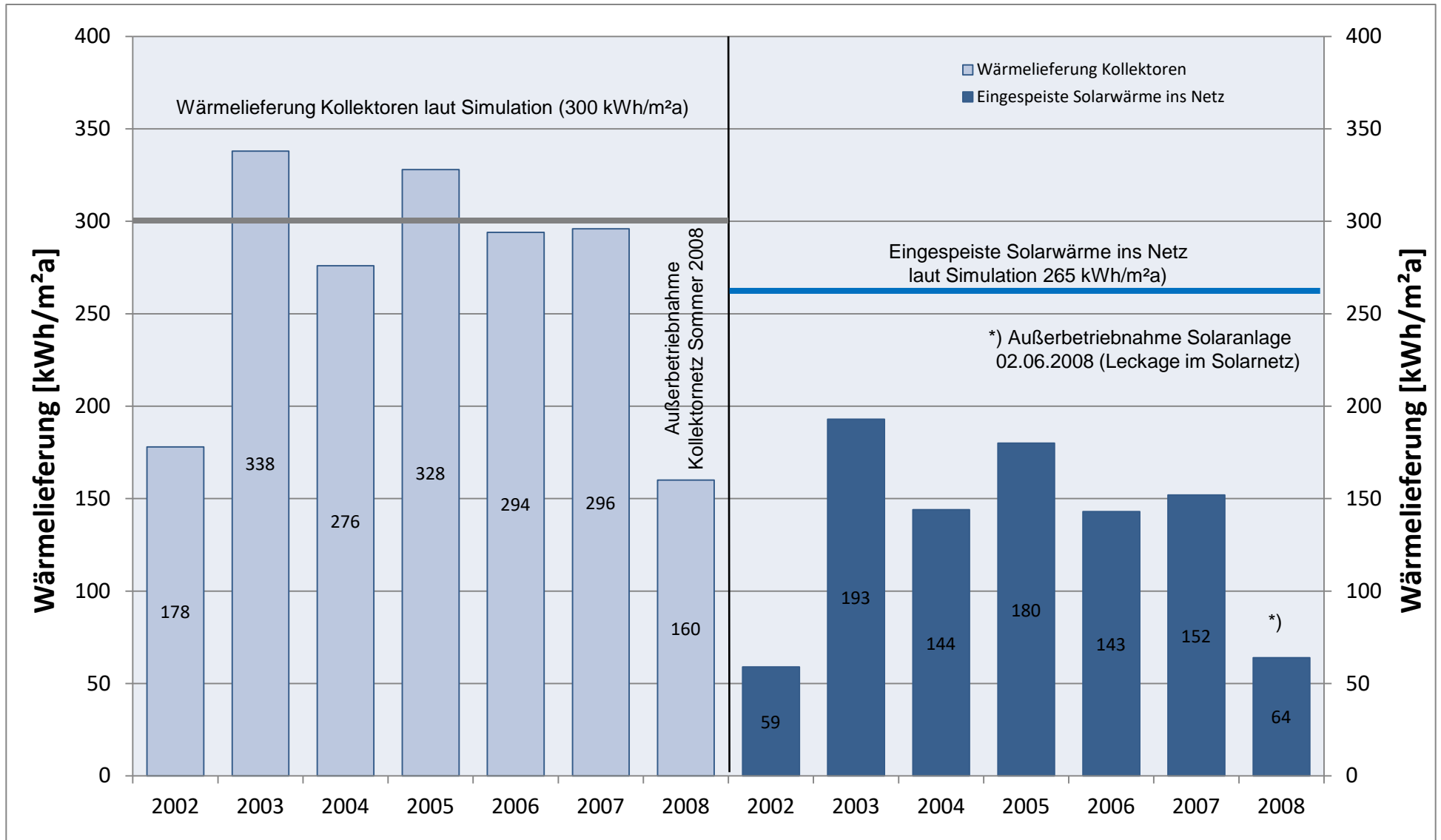


Temperaturen innerhalb und außerhalb des Wärmespeichers



4. Beispiele Pilotanlagen

Hamburg-Bramfeld



Solaranlage

- Kollektorertrag mit ca. 300 kWh/m²a (**5 % höher** als erwartet)
- Regelmäßige Überprüfung und Reinigung der Solar-Wärmeübertrager notwendig
- Notwendigkeit Sanierung des Kollektornetzes in 2009 (Versagen der Muffentechnik infolge der extremen Vollast-Lastwechselbeanspruchung)

Speicher

- Speicherwärmeverluste liegen **um Faktor 4,5 höher** als Prognose
- Speichernutzungsgrad im Mittel bei ca. 46 % (Planung 89 %)
- Ursache:
 - temperatur- und feuchteabhängige Wärmeleitfähigkeit des Dämmstoffs nicht berücksichtigt
 - im Grundwasser stehender ungedämmter Speicher-Kegelstumpf
 - nachgewiesener Wassergehalt in der Dämmung
 - anliegende Grundwasserströmung
- bisher keine Wasserverluste
- Umbau des Speichers in 2010/2011 zum Multifunktionsspeicher

Gesamtsystem

- Deckungsanteil bei **25%** (Auslegung 49%)

5. Fazit aus den Pilotanlagen

Solare Großanlagen mit Langzeitwärmespeicher



Fazit

- Die Funktionsfähigkeit wurde nachgewiesen!
- Der Nutzwärmeertrag der Langzeitwärmespeicher ist unter dem Planungswert:
 1. Netzurücklauftemperatur bis über 15 K höher als damals erwartet!
 2. Wärmeleitfähigkeit der Dämmstoffe stark temperatur- und feuchteabhängig!
 3. Temperaturschichtung im Speicher geringer als mit den damaligen Modellen berechnet!
 4. Konstruktion zwar entsprechend dem Stand der Technik, aber nicht havariesicher!
- Umsetzung neuer Pilotanlagen mit neuer Technologie und den Erfahrungen aus dem Langzeitmonitoring
- Die solarunterstützte Wärmeversorgung ist ein Baustein zukunftsfähiger Energiekonzepte – Chancen nutzen !

6. Zukünftige Funktionen Multifunktionspeicher

