

# Thermische, solare Eis- und Phasenwechsel-Speichertechniken



# LowTEMP-Trainingspaket – Gliederung

## Einführung

Einführung in Klimaschutzstrategie(n) & -ziele

Einführung in Energieversorgungssysteme und Niedertemperaturfernwärme (NTFW)

Energieversorgungssysteme im Ostseeraum

## Energiestrategien und Pilotprojekte

Methodik zur Entwicklung von Pilot-Energie-Strategien

Pilot-Energiestrategien – Ziele und Rahmenbedingungen

Pilot-Energiestrategien – Beispiele

Pilot- bzw. Demonstrationsprojekte

Berechnung von THG-Emissionen

Lebenszyklusanalyse von NTFW

## Finanzielle Aspekte

Lebenszykluskosten von NT FW-Projekten

Wirtschaftlichkeit und unrentierliche Kosten

Vertrags- und Zahlungsmodelle

Geschäftsmodelle und innovative Förderstrukturen

## Technische Aspekte

Rohrleitungssysteme

Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)

Großmaßstäbliche Solarthermie

Ab- & Überschusswärme

Großmaßstäbliche Wärmepumpensysteme

Power-2-Heat und Power-2-X

Thermische, solare Eis- und PCM-Speichertechniken

Wärmepumpen-Systeme

Niedrigtemperatur und Fußbodenheizung

Trinkwarmwasserproduktion

Lüftungssysteme

## Aus der Praxis

Innovative Praxisbeispiele

# 1. Thermische Speicher

# Thermische Speicher

## Saisonale thermische Wärmespeicherung

Es gibt 4 verschiedene Arten der saisonalen Wärmespeicherung:

- Bohrloch-Wärmespeicher
- Tank-Wärmespeicher
- Schacht-Wärmespeicher
- Aquifere-Wärmespeicher

→ Je nach den örtlichen Gegebenheiten bieten die Systeme unterschiedliche Vor- und Nachteile

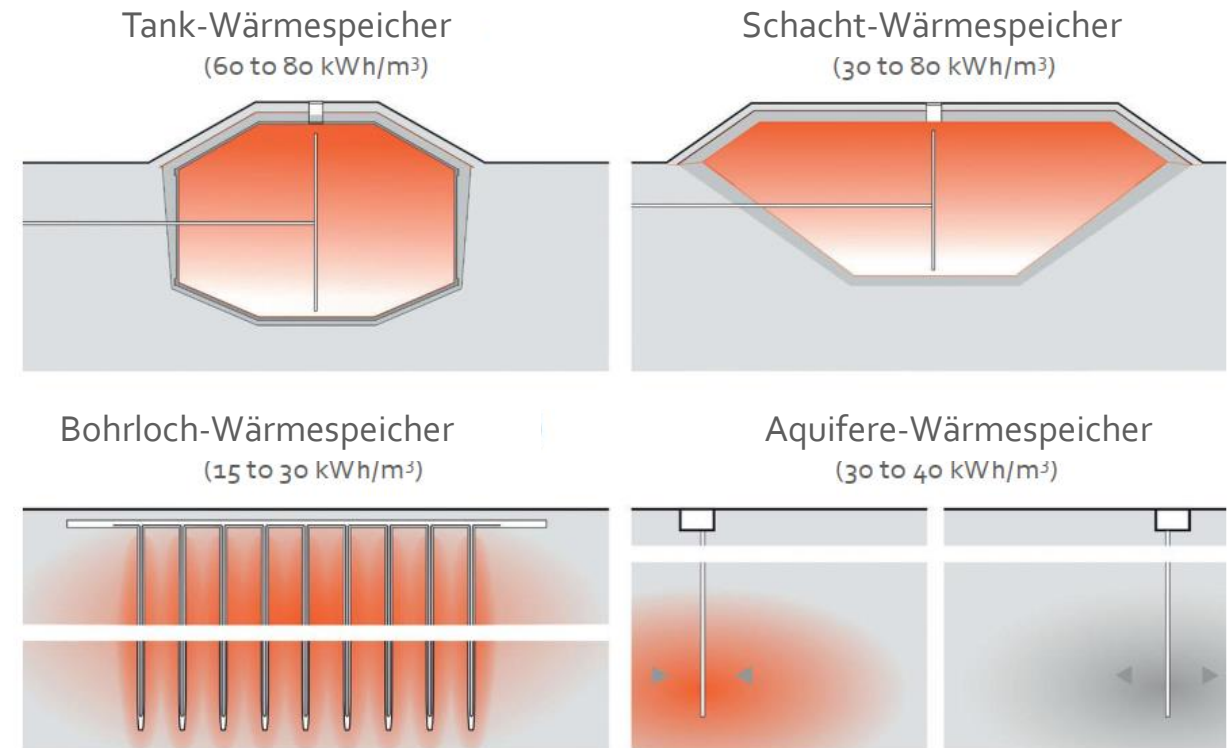


Abbildung 1: Arten der saisonalen thermischen Wärmespeicherung. Quelle: Solites [1]

# 2. Solar-Eisspeicher

Technische Einführung

Komponenten

Vor- und Nachteile

# Solar-Eisspeicher

## Technische Einführung

- Wärmespeicher zur Überbrückung der zeitlichen Differenz zwischen Angebot und Nachfrage bei erneuerbaren Energien
- Wasser speichert die solarthermische Energie
- Wärmepumpe entzieht dem Wasser die Wärmeenergie
- Reversibler Prozess, der auch das Kühlen ermöglicht
- Hauptkomponenten:
 

Solarkollektor (1)	Steuerung (2)
Eisspeicher (3)	Warmwasserspeicher (4)
Heizpufferspeicher (5)	Wärmepumpe (6)

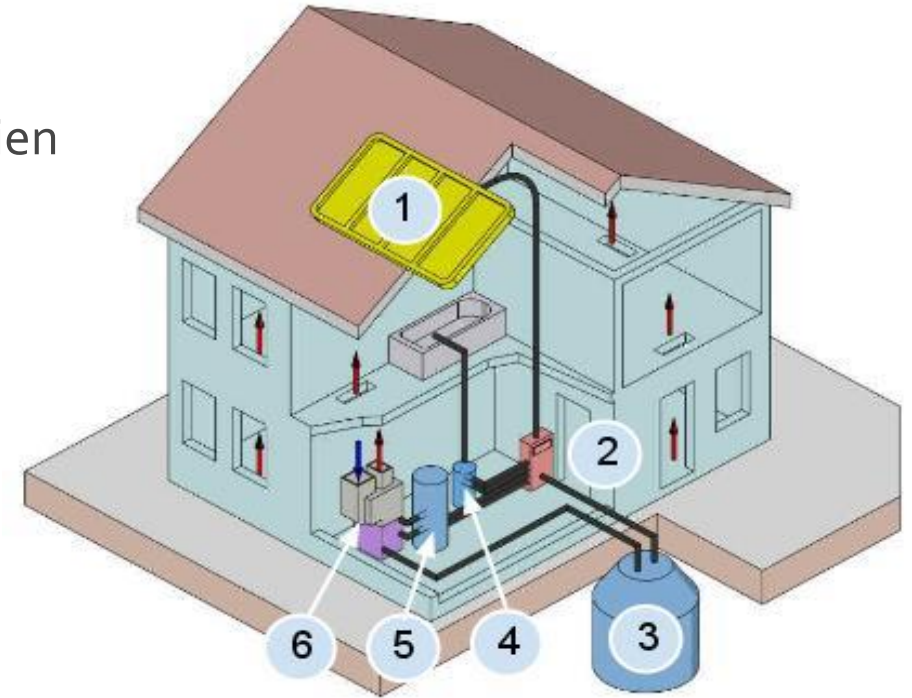


Abbildung 2: Solar-Eisspeicher Konzept.  
Quelle: U.S. Army Installation Management Command [2]

# Solar-Eisspeicher

## Technische Einführung

- Nutzt den Phasenwechsel von flüssig zu fest (gefroren), um latent Wärme zu speichern
  - Latente Wärme = ausgetauschte Wärme ohne Temperaturänderung (aber mit Phasenwechsel)
  - Sensible Wärme = ausgetauschte Wärme, welche die System-/ Körpertemperatur ändert
- Kann mehr Energie auf weniger Raum speichern
- Keine Isolierung notwendig, aufgrund von niedrigen Temperaturen

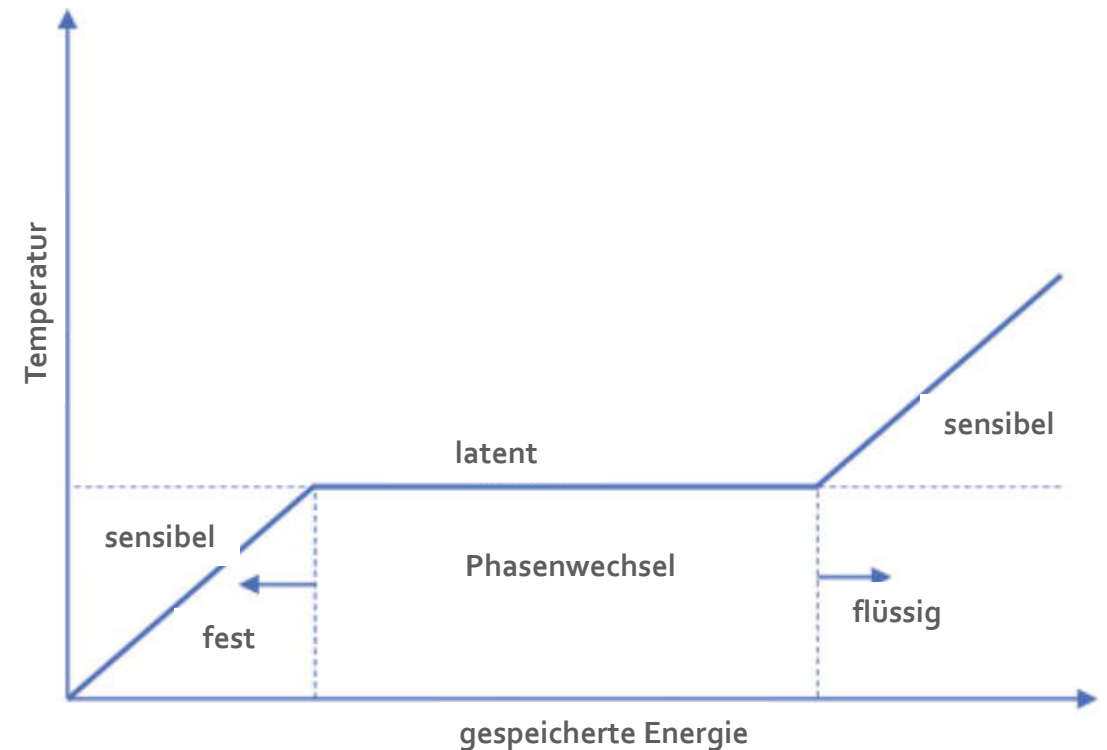


Abbildung 3: Sensible und latent Wärme. Quelle: G. Hailu [3]

# Solar-Eisspeicher

## Komponenten

- Solarkollektoren
  - Üblicherweise auf dem Dach installiert
  - Offene, unglasierte Kollektoren für hohe Effizienz
  - Sonnenstrahlung und Wärme der Umgebungsluft
  - Regeneriert den Eisspeicher und ist eine direkte Wärmequelle für das Heizsystem
  - Sehr effizient an kalten Tagen mit geringer Strahlung im Vergleich zu anderen Solarthermie-Modulen



Abbildung 4: Solarkollektoren. Quelle: Imtsimon [4]

# Solar-Eisspeicher

## Komponenten

- Eisspeicher
  - Große Zementeinheit, meist unterirdisch installiert
  - Wasser wird bei  $0^{\circ}\text{C}$  –  $30^{\circ}\text{C}$  gelagert
  - Die Wärmepumpe entzieht dem Wasser thermische Energie, bis es gefriert
  - Phasenwechsel von flüssig zu gefroren  
-> *latente Wärme*
  - Wärmeaustauschrohre werden installiert, um kontrolliertes Frieren des Wassers zu sichern



Abbildung 5: Eisspeicher Rohrleitungssystem. Quelle: ZEBAU GmbH [5]



# Solar-Eisspeicher

## Komponenten

- Wärmepumpe
  - Verbindet den Speicher mit dem Heizkreislauf
  - Entzieht dem Wasser Wärme, bis es gefriert. Der Phasenwechsel ermöglicht das latente Wärmepotential
  - Überträgt und verteilt die Wärme direkt oder in den Pufferspeicher des Heizungssystems
  - Die Wärmepumpe benötigt Elektrizität
  - Gute Isolierung und eine effiziente Erwärmung können zu einer Jahresarbeitszahl von 5 führen. Das bedeutet, dass 5 kWh mit 1 kWh Energiezufuhr erzeugt werden



# Solar-Eisspeicher

Vorteile	Nachteile
Geringe CO <sub>2</sub> Emissionen durch Nutzung erneuerbarer Energie und latenter Wärme	Wärmepumpe benötigt Zufuhr von Elektrizität
Geringe Wartungskosten, Wiederverwendung von Wasser. Vorgang wird mehrmals wiederholt	Hohe Installationskosten, da für ein effizientes System viele Komponenten notwendig sind
Heizen und Kühlen mit einem System	Während der Speicherung geht Energie an die umgebende Erde verloren
Viel höhere Energiekapazität als Warmwasserspeicher der gleichen Größe	Der notwendige Platz muss vorhanden sein
Kann vielfältig eingesetzt werden, in neuen und renovierten Gebäuden, privat und öffentlich.	Die Implementierung in bestehenden Gebäuden ist nur bei einer allgemeinen Sanierung des Heizungssystems sinnvoll
Spart 50% der Heizkosten und 99% der Kühlkosten im Vergleich zu Standard Heiz- und Kühlsystemen	
Eisspeicher werden finanziell gefördert	

# Solar-Eisspeicher

Thermische Speicher können eine gute Lösung sein, um erneuerbare Energien optimal zu nutzen:

- Niedrige Betriebstemperatur – Niedertemperatur-Heizsysteme
- Hoher Wirkungsgrad für Standorte mit geringer Sonneneinstrahlung
- Teure Installation, hoher Platzbedarf sowie Solarinstallation auf dem Dach
- Mehrfachnutzung – Kühlsysteme "laden" für die nächste Heizperiode auf
- Gute JAZs (Jahresarbeitszahl) für Wärmepumpen
- Phasenwechselmaterialien (PCM) können teuer und selten sein, aber die Effizienz verschiedener Systeme unterstützen
- Viele verschiedene Optionen für die Implementierung
- Die Forschung wird die Möglichkeiten in Zukunft noch erweitern

# 3. Phasenwechsel-Speicher (PCM)

Allgemeine Funktion

Eigenschaften und Anwendung

# Phasenwechsel Speicher

## Allgemeine Funktion

## Phasenwechsel Materialien

- Temporäre Speicherung mit Nutzung von latenter Wärme während des Phasenwechsels
- Reversibler Prozess!
- Selten als Speichereinheit verglichen mit Eisspeichern (Wasser als Phasenwechsler)
- Kann fest (Granulat, Kugeln) oder flüssig (PCM-Flüssigkeit) sein
- Eingebettet in eine Wärmeübertragungsflüssigkeit
- Kann organisch, anorganisch oder eutektisch sein (2 oder mehr Komponenten)

# PCM Speicher

## Eigenschaften und Anwendung

- Wird unter anderem in Wänden und Deckenplatten zur passiven Temperaturregelung verwendet
- Kurzzeitspeicher mit geringem Platzbedarf
- Dezentrale Kühlsysteme
- Wird sogar in Duschköpfen verwendet, um schneller warmes Wasser bereitzustellen

	Organisch	Anorganisch
<b>Vorteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine Korrosion</li> <li>- Geringe oder keine Unterkühlung</li> <li>- chemische und thermische Stabilität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Größere Phasenwechselenthalpie</li> </ul>
<b>Nachteile</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Geringere Phasenwechselenthalpie</li> <li>- Geringe Wärmeleitfähigkeit</li> <li>- Entflammbarkeit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unterkühlung</li> <li>- Korrosion</li> <li>- Mangel an thermischer Stabilität</li> <li>- Phasentrennung</li> </ul>

# PCM Speicher

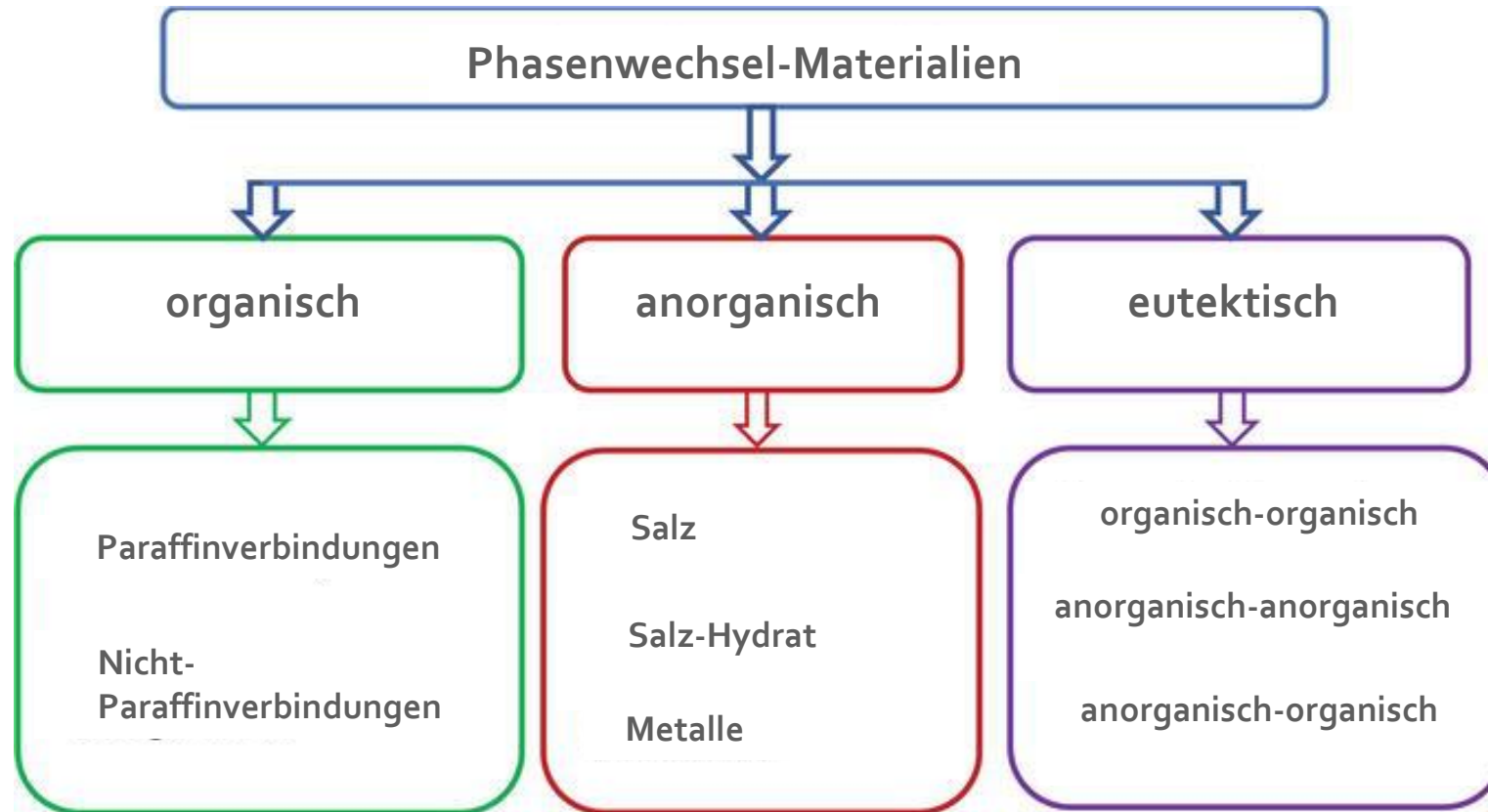


Abbildung 6: Phasenwechsel-Materialien und Eigenschaften. Quelle: G. Hailu [6]

# 4. Umsetzung

Saisonaler thermischer Speicher

Pilotprojekte (Solar-Eisspeicher und Phasenwechselfpeicher)

# Umsetzung

## Saisonaler thermischer Speicher

Wärmenetz mit saisonaler Wärmespeicherung:  
*Drake Landing Solar Community, Kanada*

- 52 Einfamilienhäuser mit Solarkollektoren
- Energiezentrum mit Kurzzeitspeichern, Bohrloch-Wärmespeicher (37 m tief)
- Durchschnittlich **96 %** des Heizbedarfs wurden über 12 Jahre gedeckt
- COP von **3** für die Wärmepumpe
- Temperatur von 37 °C to 50 °C für Heizkreisläufe

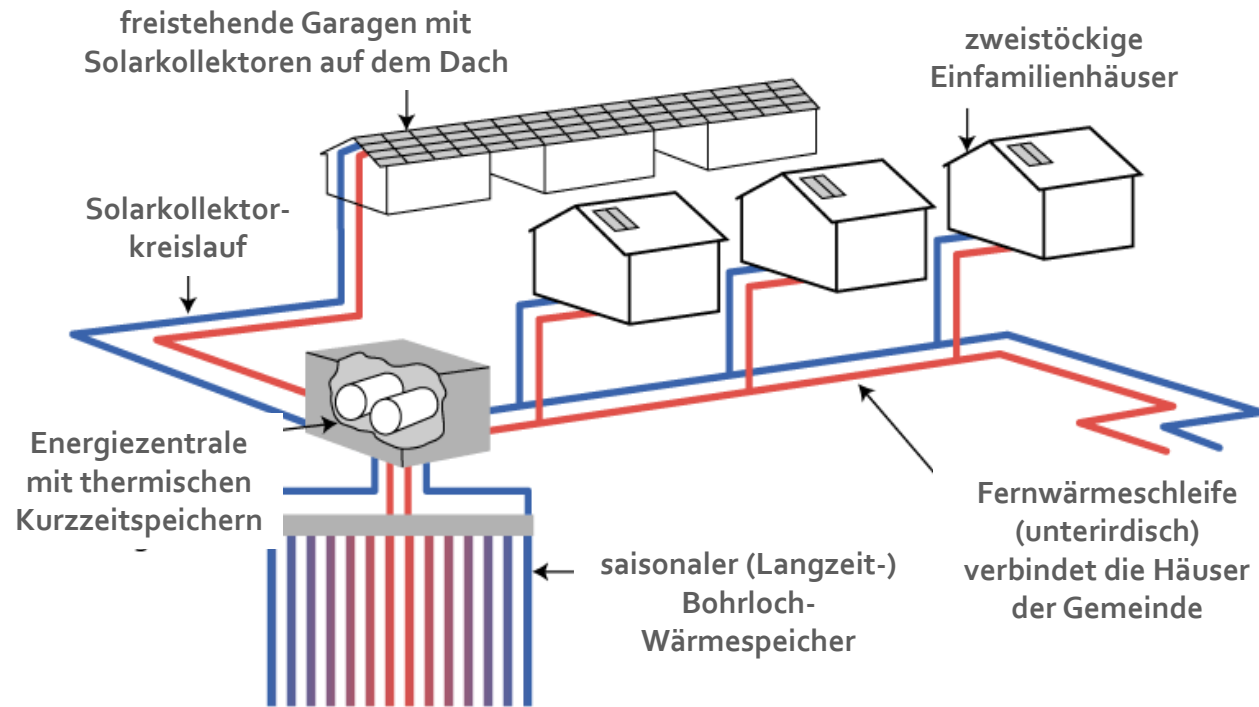


Abbildung 7: Saisonaler thermischer Speicher und Verteilungssystem, Drake Landing Solar Community. Quelle: D. Sibbitt et al. [7]

# Umsetzung

## Einsatz im Bestandsquartier

- Baujahr: 2019
- Ort: Reeseberg, Hamburg
- Eigentümer: Eisenbahnbauverein Harburg eG
- Sechs Elektro-Wärmepumpen in Kombination mit vier Eisspeichern
- Die Regeneration des Speichers erfolgt durch überschüssige Windenergie und PV-Strom, mit der elektrische Heizstäbe betrieben werden.
- An anderer Stelle wird der Eisspeicher durch Solarthermie oder Luftabsorber regeneriert.

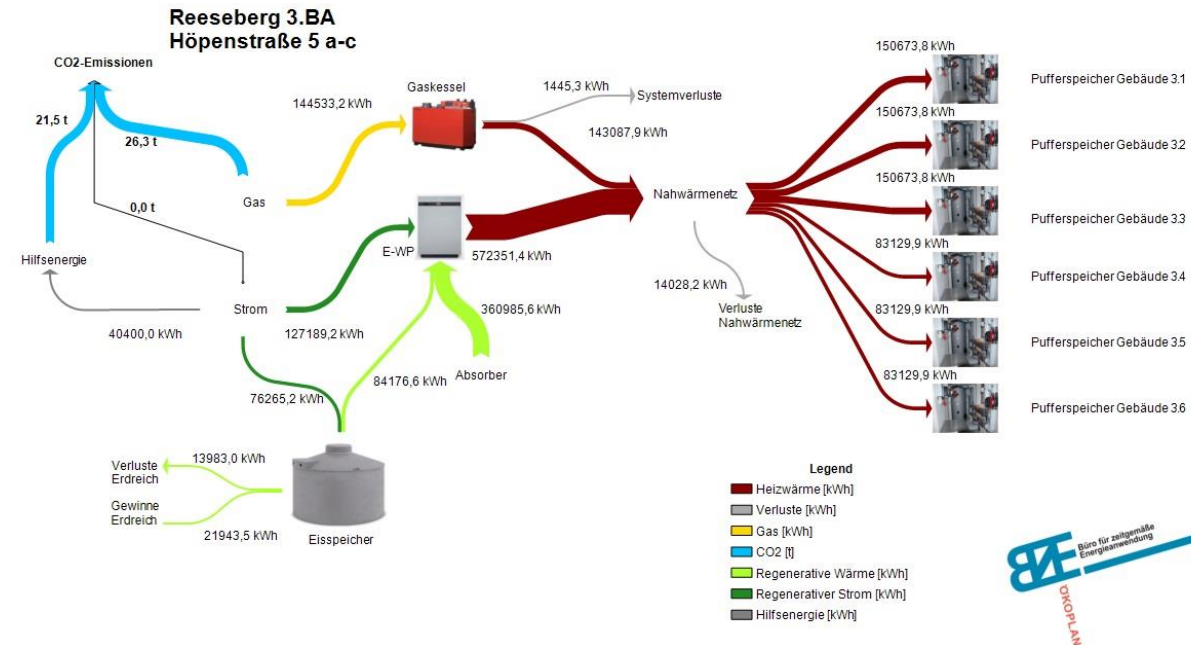


Abbildung 8: Sankey Diagramm zum Projekt Reeseberg. Quelle: BZE Ökoplan [8]

Weitere Infos im Modul „Innovative Praxisbeispiele“

# Umsetzung

## Eisspeicher in Rendsburg, Deutschland

- Zwei Energiezentren, die an den Speicher angeschlossen sind (560 m<sup>3</sup>):
  - “Kreishaus”: elektrische Wärmepumpe, 3 Erdgas-wärmepumpen, Erdgaskesselanlage (23 Sonnenkollektoren)
  - “Uhrenblock”: elektrische Wärmepumpe, Erdgas-wärmepumpen, Erdgaskesselanlage
- Jährlich werden 170 Tonnen Treibhausgase eingespart
- Wurde von der Agentur für erneuerbare Energien mit dem Titel “Energiekommune des Monats” ausgezeichnet



Abbildung 9: Eisspeicher von Außen. Quelle: Stadtwerke Rendsburg GmbH [9]

# Umsetzung

## PCM Speicher: Futurium in Berlin, Deutschland

- Das Gebäude dient als Bühne, Museum, Labor und Forum
- Latentwärmespeicher aus Kerosin basierend auf Heat Sel-Technologie: 55.000 Heizkörper
- 5 Tanks mit einem Gesamtvolumen von 50,000 l, Speicherkapazität von 1 MWh
- Der Lagertank für den Absorptionskühler hat eine konstante Be- und Entladetemperatur von 12 °C



Abbildung 10: Heat sels (PCM) in einem isolierten Speicher.  
Quelle: Axiotherm [10]



Abbildung 11: Futurium in Berlin. Quelle: Da7de [11]

# Umsetzung

## Pilotprojekte

- PCM-Speicher für Industrie- und öffentliche Gebäude
  - Universität der Biowissenschaften, Norwegen  
200m<sup>3</sup> Tank deckt Spitzenlasten
  - Flughafen Bergen, Norwegen  
vier 60m<sup>3</sup> Tanks decken den Kühlbedarf von Terminal 3
- Solar- Eisspeicher Hotel Riva, Deutschland
  - Großer Heiz- und Kühlbedarf  
80m<sup>2</sup> Sonnenkollektoren, 175m<sup>3</sup> Speichereinheit  
-> deckt alle Kühl- und Heizbedarfe ab



Abbildung 12: Eisspeicher in Konstruktion. Quelle: Raimond Spekking [12]

# Bildnachweise

- [1] Solites. <https://docplayer.dk/147445564-Per-alex-soerensen-planenergi-thomas-schmidt-solites-steinbeis-research-institute-for-solar-and-sustainable-thermal-energy-systems.html>
- [2] U.S. Army Installation Management Command. Public Works Digest, Volume 4 (2013). <https://ufdcimages.uflib.ufl.edu/AA/00/06/22/99/00055/10-2013.pdf>
- [3] G. Hailu. Seasonal solar thermal storage (2018). <https://www.intechopen.com/books/thermal-energy-battery-with-nano-enhanced-pcm/seasonal-solar-thermal-energy-storage>
- [4] Imtsimon. Pixabay. <https://pixabay.com/de/photos/solar-panel-auf-dem-dach-eines-hauses-4795730/>
- [5] ZEBAU GmbH. Eigene Aufnahme
- [6] G. Hailu. Seasonal solar thermal storage (2018). <https://www.intechopen.com/books/thermal-energy-battery-with-nano-enhanced-pcm/seasonal-solar-thermal-energy-storage>
- [7] D. Sibbitt et al. Measured And Simulated Performance Of A High Solar Fraction District Heating System With Seasonal Storage. [http://dlsc.ca/reports/bjul15/ISES\\_SWC\\_2011\\_final.pdf](http://dlsc.ca/reports/bjul15/ISES_SWC_2011_final.pdf)
- [8] BZE Ökoplan Büro für zeitgemäße Energieanwendung. Eigene Darstellung

Letzter Aufruf am: 13.04.2021



# Bildnachweise

- [9] Stadtwerke Rendsburg GmbH. <https://stadtwerke-rendsburg.de/eis-energiespeicher.html>
- [10] Axiotherm. Heatstixx®. <https://www.axiotherm.de/de/produkte/heatstixx%C2%AE/>
- [11] Da7de. Pixabay. <https://pixabay.com/de/photos/futurium-berlin-architektur-modern-5363343/>
- [12] Raimond Spekking / CC BY-SA 4.0 (via Wikimedia Commons).  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eisspeicher\\_im\\_Nebau\\_Historisches\\_Archiv\\_der\\_Stadt\\_K%C3%B6ln-4173.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eisspeicher_im_Nebau_Historisches_Archiv_der_Stadt_K%C3%B6ln-4173.jpg)

Letzter Aufruf am: 13.04.2021



LowTEMP2.0

# Kontakt

## ZEBAU GmbH

Zentrum für Energie, Bauen, Architektur  
und Umwelt

**Jan Gerbitz**  
**Andreas Broßette**  
**Merle Petersen**

Große Elbstraße 146  
22767 Hamburg  
Germany

E-mail: [info@zebau.de](mailto:info@zebau.de)  
Tel: +49 40 - 380 384 - 0  
[www.zebau.de](http://www.zebau.de)