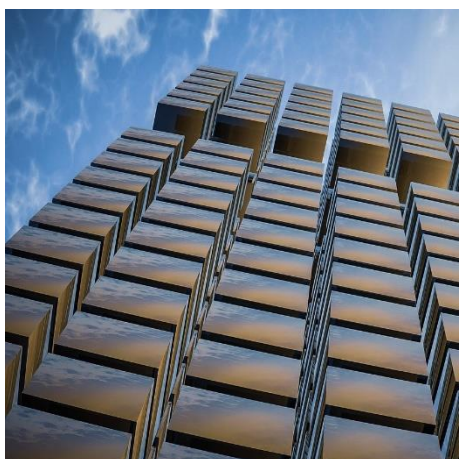


*Miteinander forschen  
Wirtschaft stärken  
Perspektiven schaffen*



## **Kombinierte Wärme- und Kälteversorgung mit Wärmepumpe und Flüssigeisspeicher Einbindung von PV-Strom**

Energy Saxony – Arbeitskreistreffen

18. April 2024

**Dr. Sirko Kamusella**

# ILK Dresden | Struktur und Zahlen

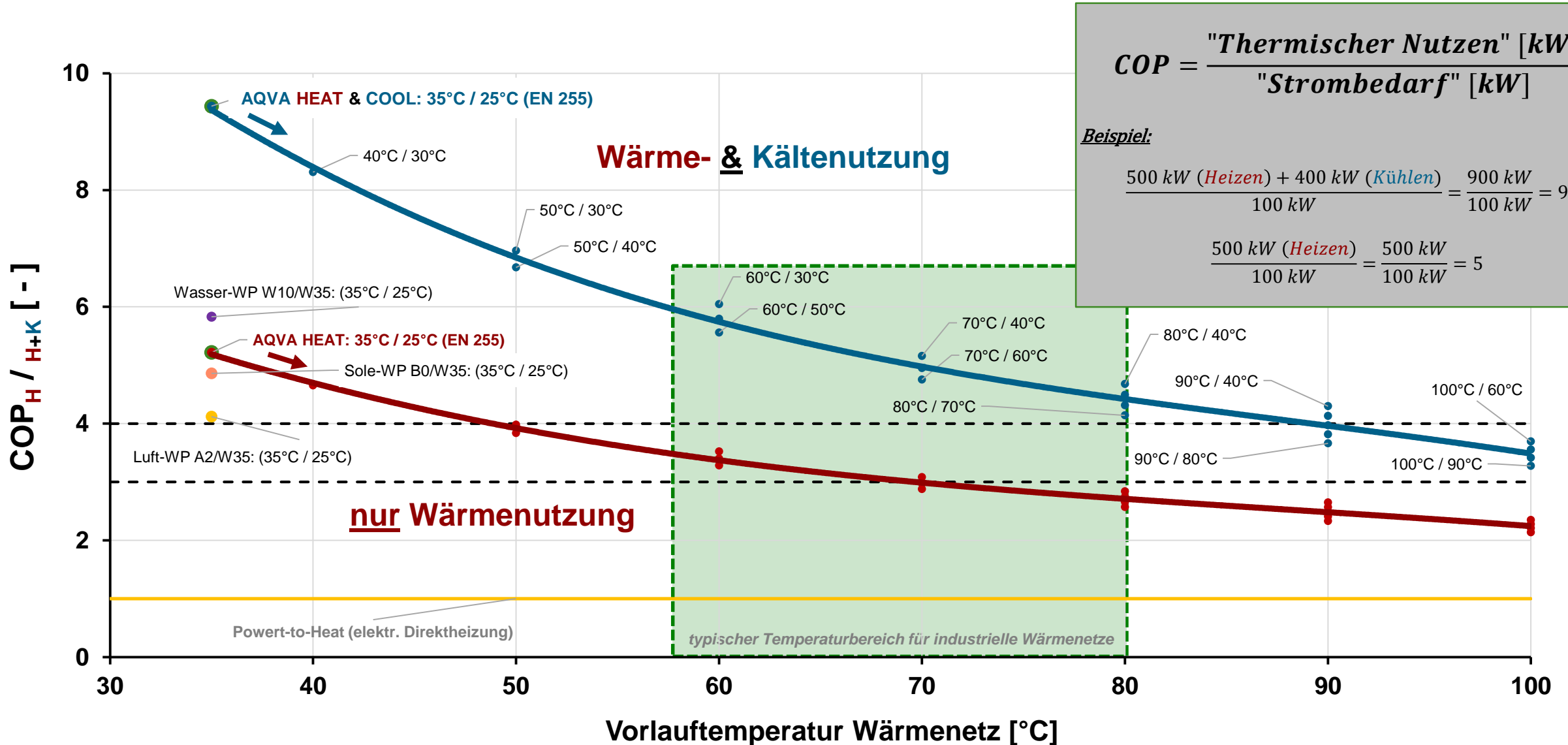


- Gründung: 1964
- Unabhängige Forschungseinrichtung: 1990
- Mitarbeiter: 153 (72% Akademiker)
- Durchschnittsalter: 46 Jahre
- Studenten: ca. 50 pro Jahr
- Versuchsfläche: >3000 m<sup>2</sup>
- physikalisch-chemische Labore: 25
- > 15 Mio. Euro Jahresumsatz:
- Projektforschung öffentliche Hand: 55 %
- Industrieforschung: 45 %

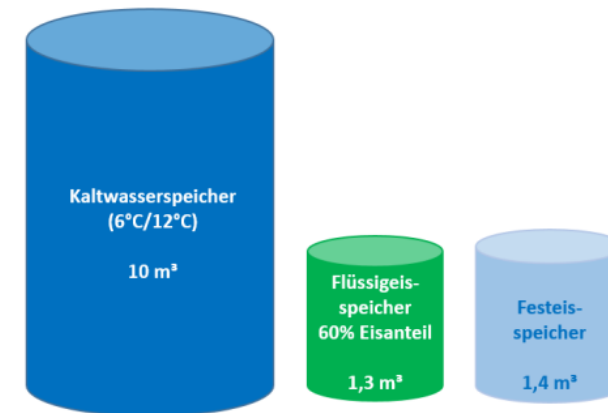
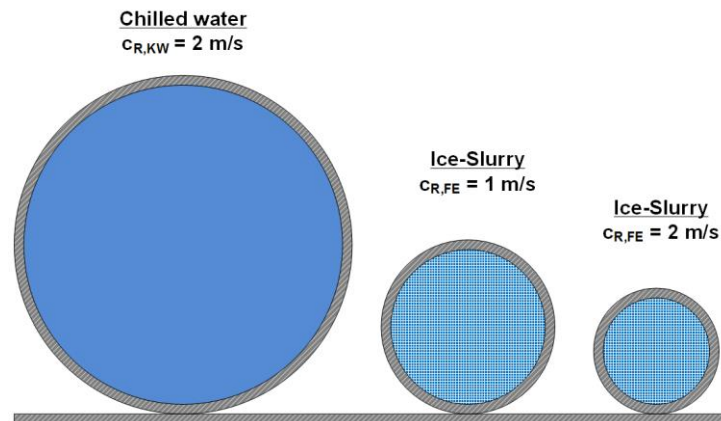
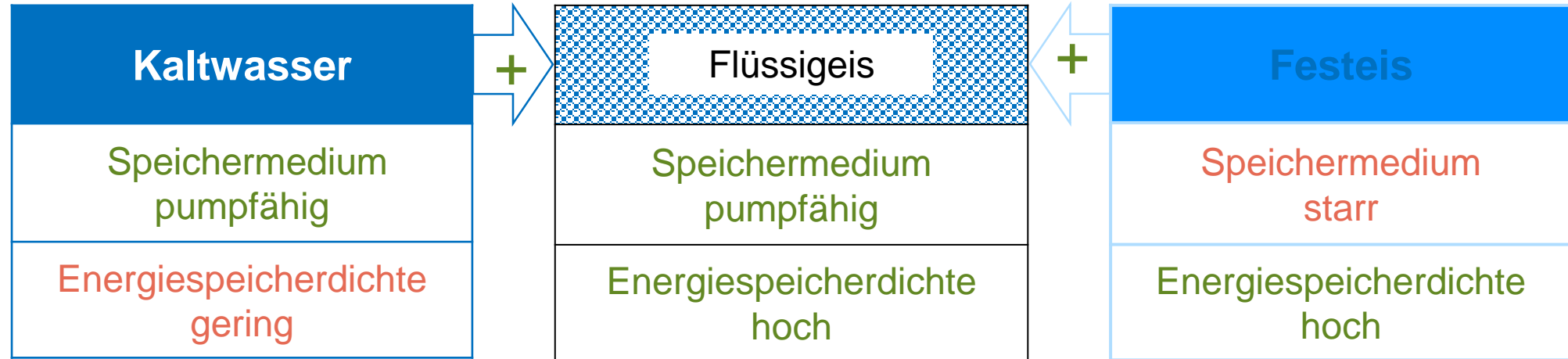


# Wärme-Kälte-Kopplung mit Flüssigeispeicher

Systemeffizienz Wärmepumpenbetrieb mit Flüssigeiserzeugung/-speicherung



# Flüssigeis als Kältespeicher- und -verteilmedium



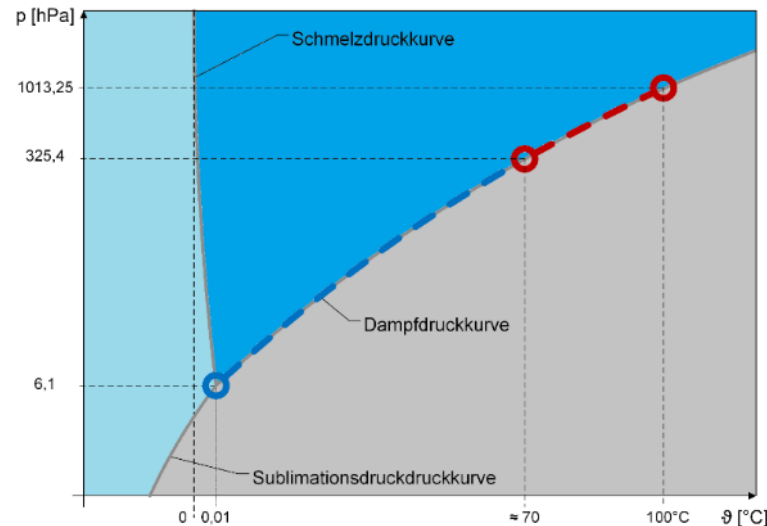
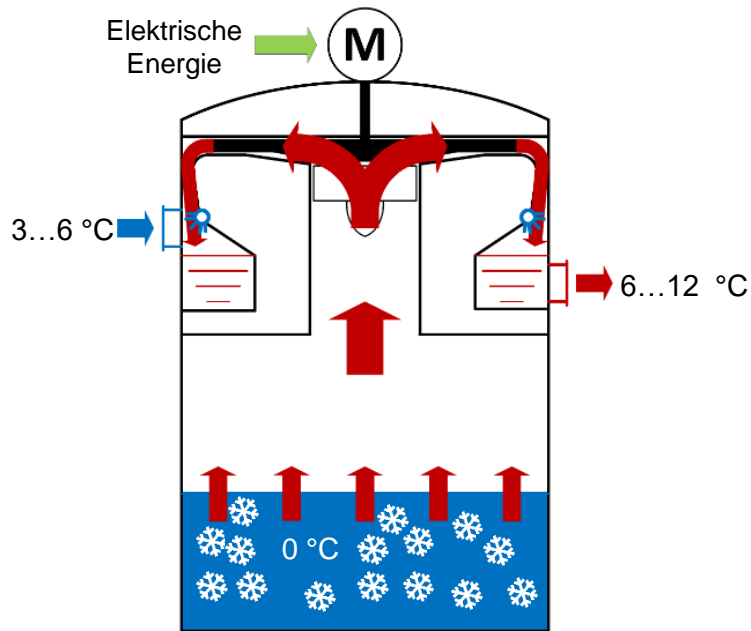
Vergleich des Speichervolumens bei gleicher Kapazität

**Flüssigeis vereint die Vorteile von Kaltwasser- und Festeis**

# Erzeugung von Vakuum-Flüssigeis (Tripelpunktverfahren)



- Verdampfung und gleichzeitiges Gefrieren am Tripelpunkt
- Mechanische Verdichtung des Wasserdampfes (Turboverd.)
- Wärmeabgabe durch Direktkondensation auf leicht erhöhtem Temperaturniveau

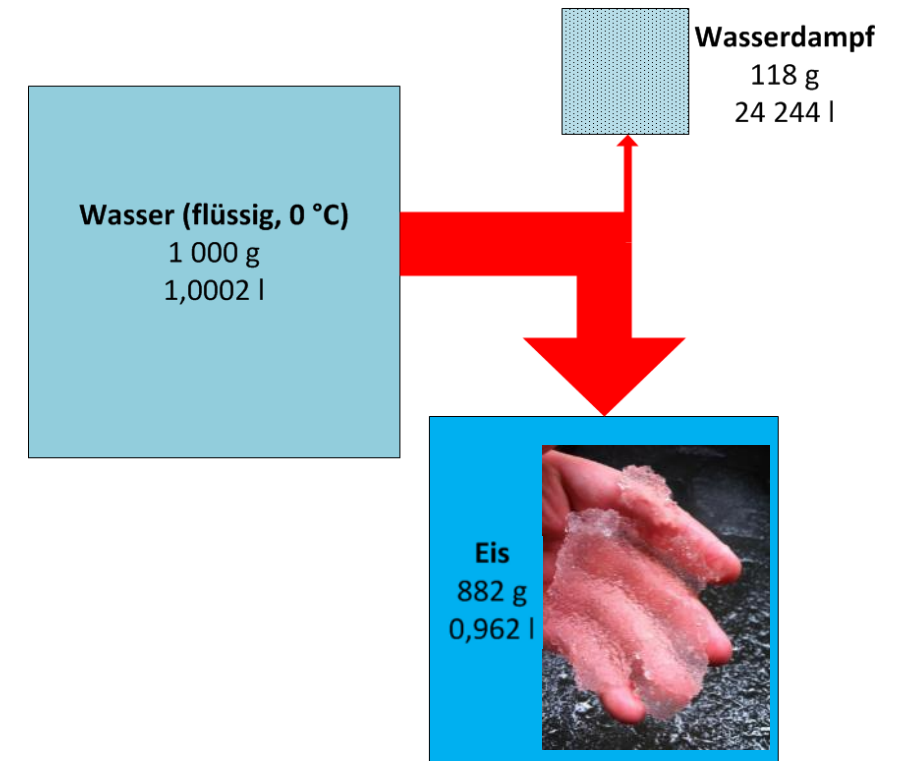


Verdampfungsenthalpie (6,1 mbar; 0,01 °C)

$$h_v = 2500 \text{ kJ/kg}$$

Erstarrungs-/Schmelzenthalpie

$$h_{fus} = 333,5 \text{ kJ/kg}$$



# Vakuump-Flüssigeis (Tripelpunktverfahren)



- Wasser = Kältemittel und Speichermedium
- keine trennenden WÜ (Direktverdampfung und –kondensation)
- Höchste Effizienz aller Eiserzeugungsverfahren
- Pumpfähiges Wasser-Eis-Gemisch
  - Kostengünstige Speicherung großer Energiemengen
  - Transport thermischer Energie mit hoher Energiedichte und konstanter Temperatur

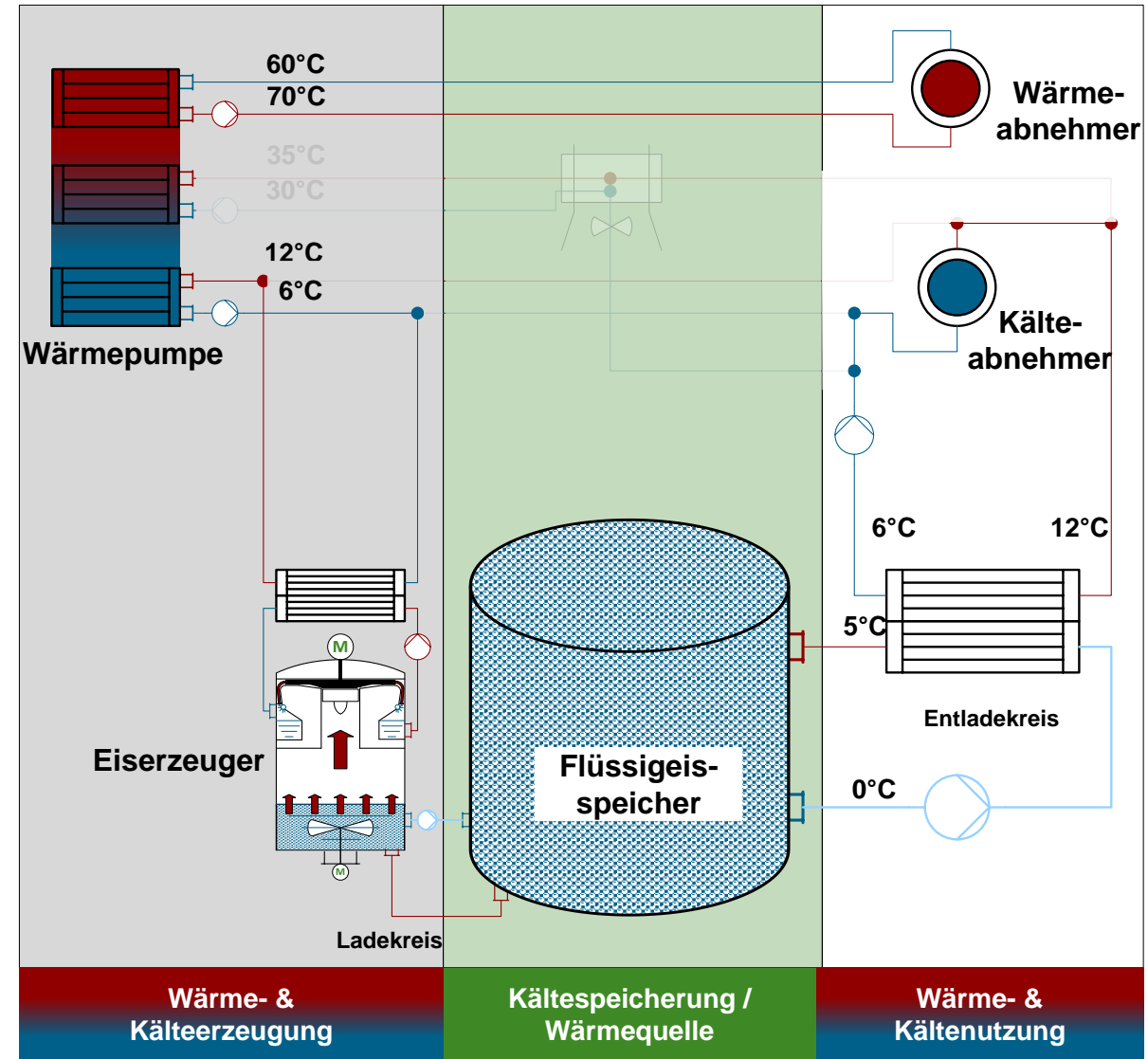


# Wärme-Kälte-Kopplung mit Flüssigeispeicher

## Systemkonzept / prinzipieller Aufbau



- Hauptkomponenten: Eiserzeuger & Flüssigeispeicher
- Flüssigeispeicher als „Wärme- & Kältequelle“  
→ Ausgleich von zeitlich versetztem Wärme- und Kältebedarf (Einsatz als Tages- / Wochen- / Monatspeicher)
- Zusätzlich Regeneration des Flüssigeispeichers möglich (Solar-, Umwelt-, Abwärmewärme, Gewässer)
- Konstantes Temperaturniveau der Wärmequelle für die Wärmepumpe (zentral / dezentral)
- Keine Schallemissionen durch Luft-WP
- Max. Effizienz durch kombinierte Wärme- / Kälte-Nutzung



Mögliches Gesamtsystem

# Vakuum-Flüssigeis – Anwendungen



- Kältespeicherung - Flexibilisierung auch industrieller Kälteanlagen
- Kältetransport

## Fernkälte

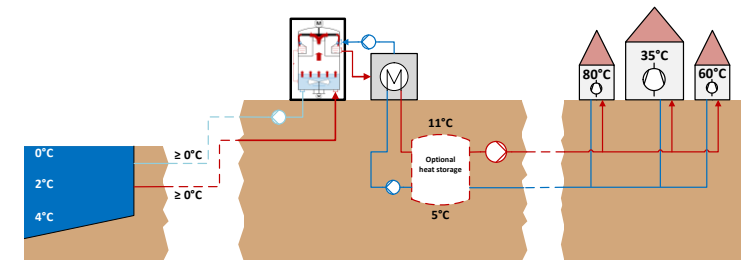
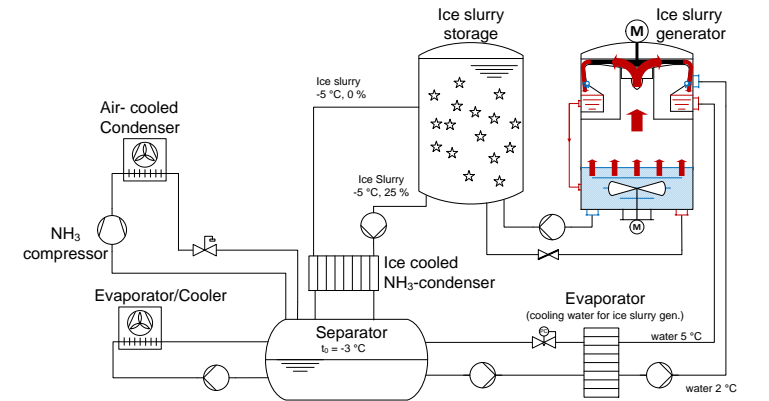
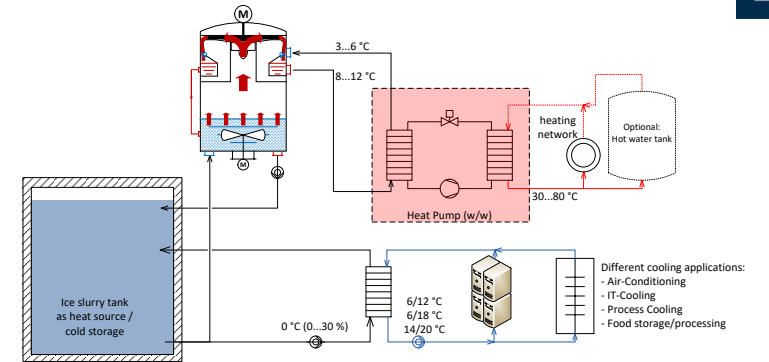
- Flexibilisierung durch Kältespeicher mit hoher Energiedichte
- Kapazitätssteigerung bestehender Netze
- Minderung Pumpenergie

## Hydrothermie (Gewässer als Wärmequelle)

- Fluss- und Seewasser als Wärmequelle  $\Rightarrow$  ganzjährig

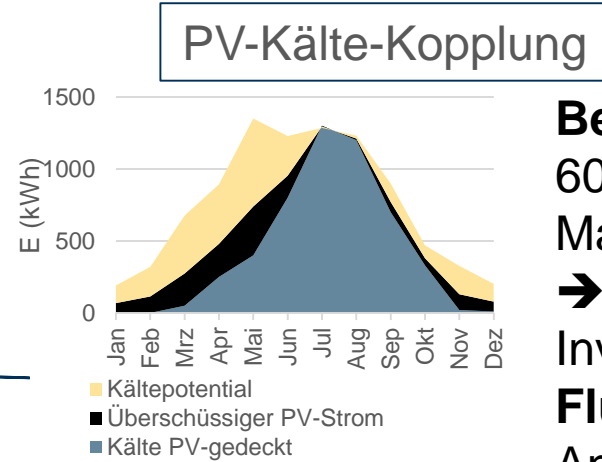
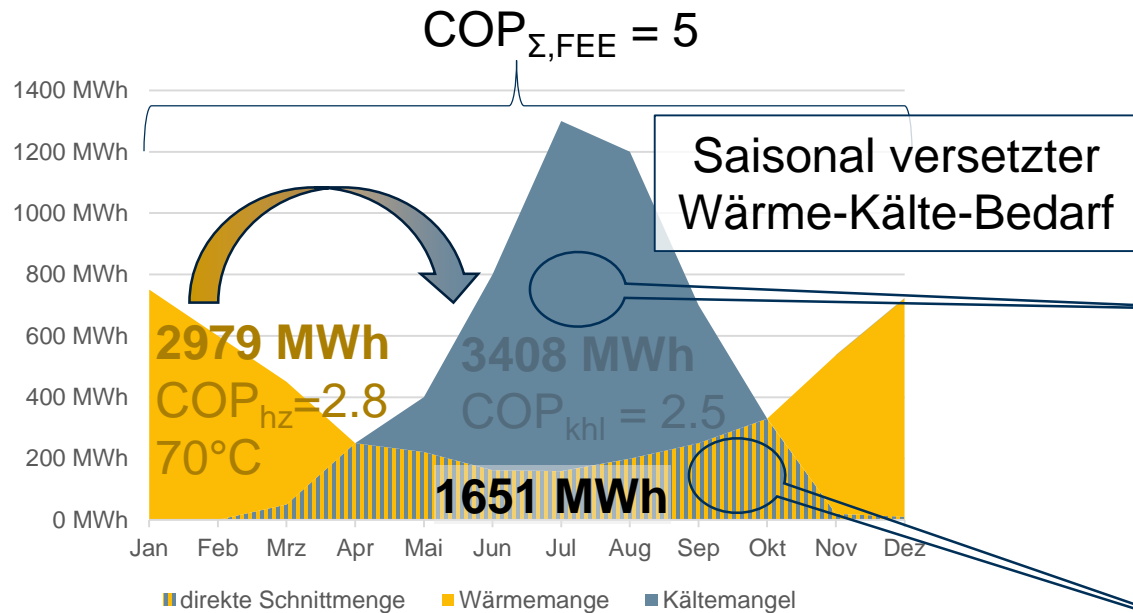
## Wärmeversorgung

- “Heizen mit Eis”(-speicher)
- Wärme-Kälte-Kopplung
- Kalte Netze

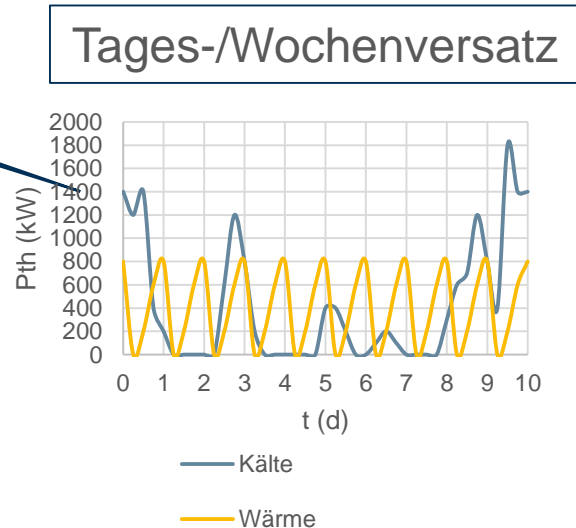




# Beispiel: Studie zur Dekarbonisierung einer Fertigungsstätte in Limbach-Oberfrohna



**Bestand**  
607 k€/a Strom für Kälte  
Max. 33 000 m<sup>2</sup> Dachfläche  
→ PV-Ertrag (6.3 MWp, Invest 5700 k€): 3240 MWh/a  
**Flüssigeis:**  
Analog siehe unten



500 kW Eiserzeuger

63 MWh 677 t<sub>Eis</sub>

1 Mw Eiserzeuger

0.8 k€/kW<sub>th</sub>

2979 MWh 32017 t<sub>Eis</sub>

Speicherkosten ≈ 0.6 k€/t<sub>Eis</sub>

**Bestand**  
208 k€/a Gas für Wärme  
607 k€/a Strom für Kälte

**Flüssigeis**  
631 k€/a Strom  
Invest: 800 k€+ 19400 k€

**Bestand**  
77 k€/a Gas für Wärme  
198 k€/a Strom für Kälte  
**Flüssigeis**  
177 k€/a Strom  
Max. -50 k€/a Laststrom  
Invest: 400 k€+ 400 k€



## **Dr. Sirko Kamusella**

Hauptbereich Angewandte Energietechnik  
Energiesysteme und Simulation

T +49 351 4081 5526

F +49 351 4081 5599

M +49 173 5860482

[Sirko.Kamusella@ilkdresden.de](mailto:Sirko.Kamusella@ilkdresden.de)

# Beispiel 1: ILK FEE-Anlage zur Nutzung von Tag –Nacht-Strom-Tarif im Rechenzentrum



Laden: 400 kW  
Speichern: 3.500 kWh  
Entladen: 1.200 kW

