SINTEF

Deutsche Kälte- und Klimatagung

DKV Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein

HOCHTEMPERATURWÄRMEPUMPE MIT GROßEM TEMPERATURHUB

BETRIEBSERFAHRUNGEN

Christian Schlemminger, Hannes Trumpf

Email: christian.schlemminger@sintef.no

Christian Schlemminger (PhD/Dr.-Ing.)

POSITION

- Research Scientist, SINTEF Energy Research

KEY QUALIFICATIONS

- Component development, lab and industrial pilot scale tests of
  - Heat pumps / High Temperature Heat Pumps
  - Refrigeration
  - Cryogenics (Low temperature cooling)
  - Energy storage / Hydrogen storage
  - Fuel Cells / SOFC
- Thermal process engineering
- Integrated energy systems

CONTACT

Christian.Schlemminger@sintef.no
+47 41063418

SINTEF

Inhalt

1 Einleitung und Motivation

2 Technologie Beschreibung

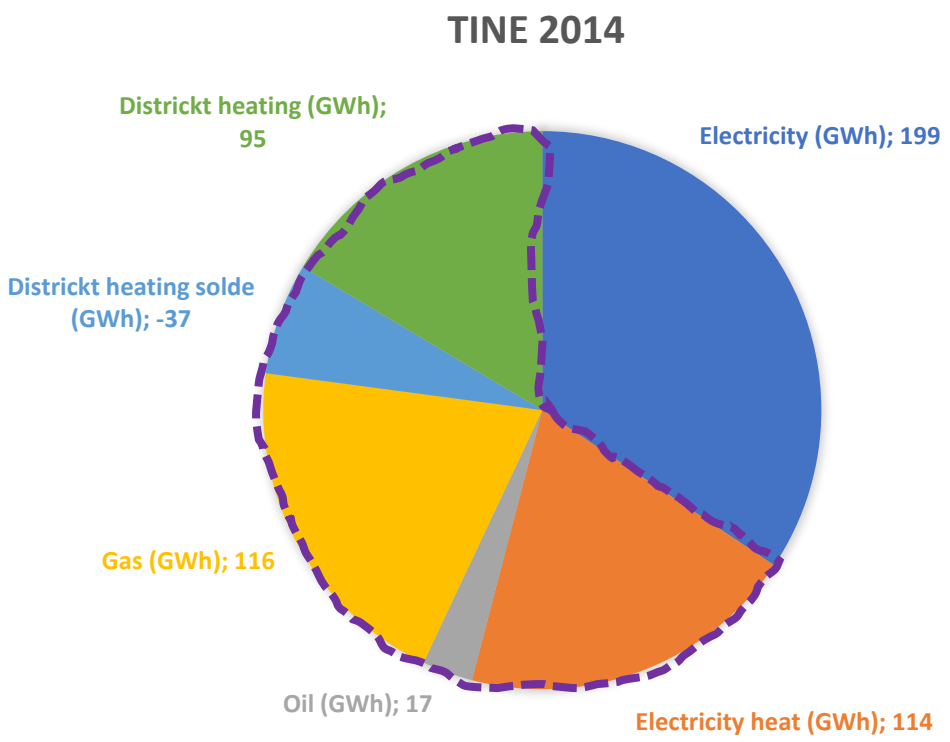
3 Integration in Bestandsmolkerei

4 Analyse vom Anlagenbetrieb

5 Verbesserungsvorschläge

6 Schlussfolgerungen

Einleitung und Motivation



- **TINEs Ziel ist die Umstellung der Produktion auf 100% erneuerbare Energiequellen bis 2025**

- **Referenzjahr 2014**
  - Total Primärenergie bedarf 504 GWh
  - Wärmebedarf 305 GWh
  - Der größte Wärmebedarfsanteil liegt bei einem Temperatur Niveau von 90°C bis 180°C

→ WP und HTWP sind Schlüssel Technologie für TINE, um das ehrgeizige Ziel zu erreichen

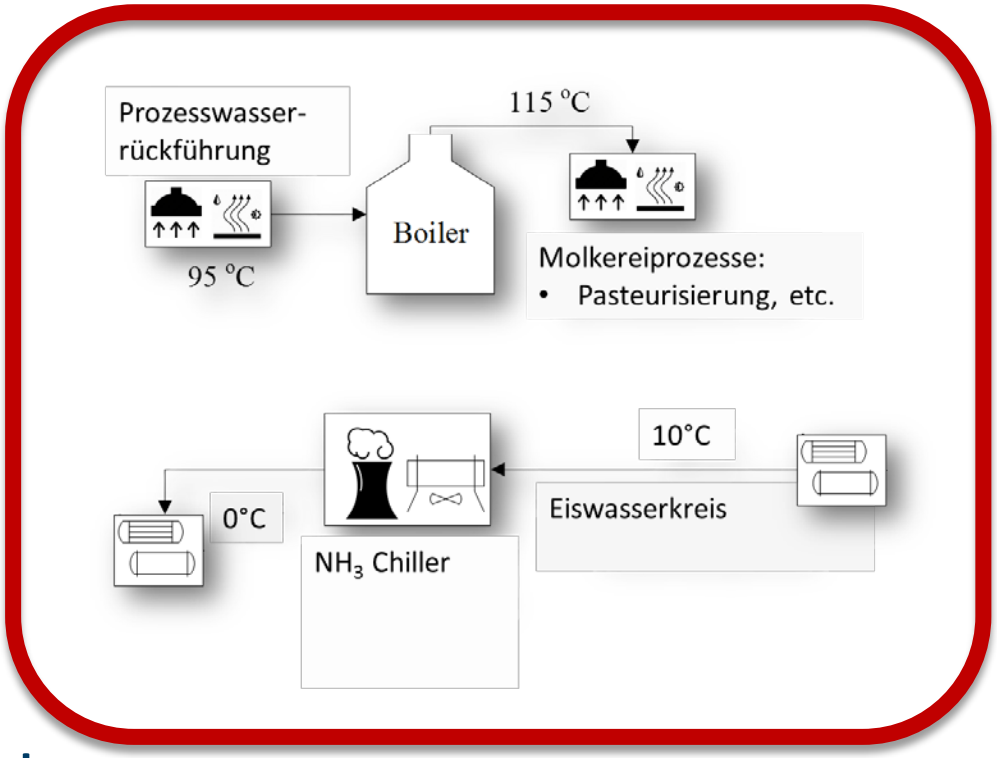
Nachrüstung einer bestehenden Molkerei

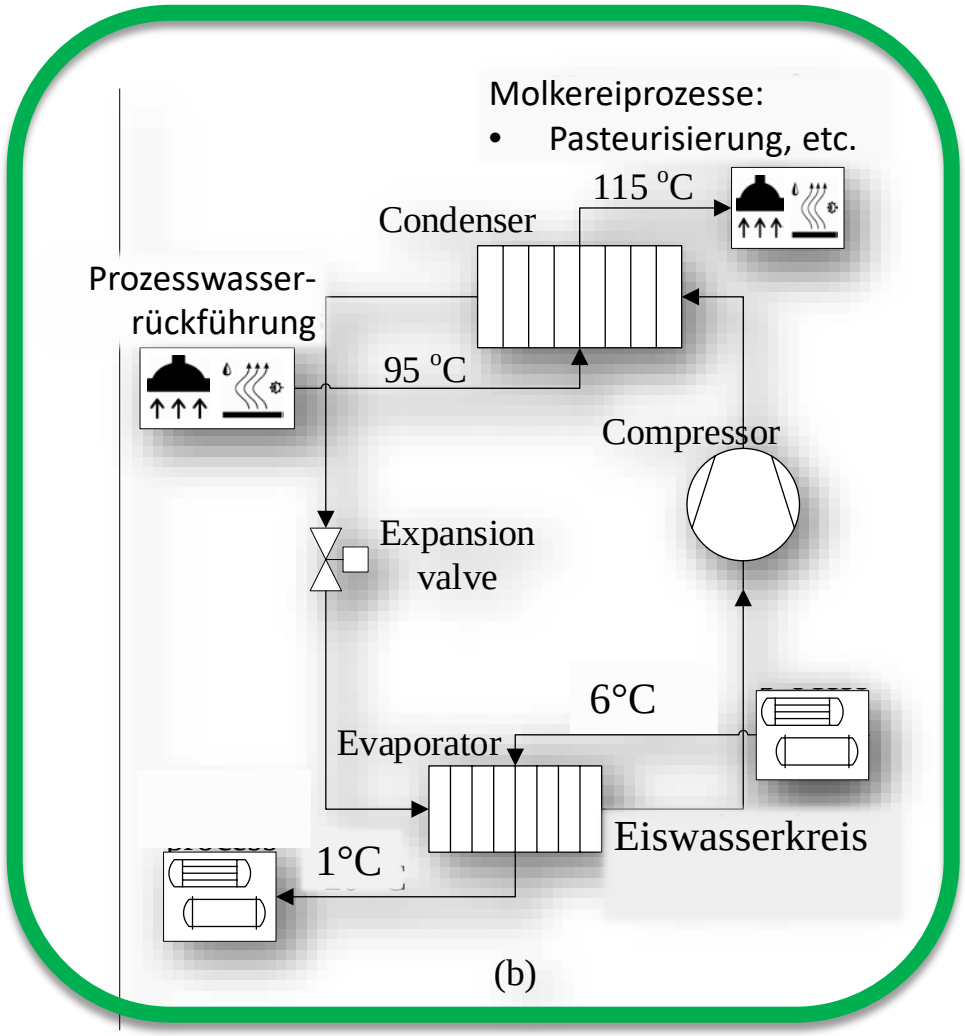
TINE Molkerei in Trondheim, Norwegen

- Bestandsanlage, HTHP Inbetriebnahme Juni 2021
- Jährliche Produktion: 75 mio. Liter Milchprodukte
- Prozesskälte:
  - 4 NH_3-KWS (2700 kW_{th}, -1,5 °C / 33 °C)
- Prozesswärme
  - Warmwasseraufbereitung mittels transkritische CO_2-Wärmepumte 160 kW_{th}, 0 °C / 10 °C bis 75 °C
  - Prozesswärme elektrischen Heizers 3000 kW_{th} 95 °C/115 °C
  - Fernwärme und Ölbrenner als 100% Reserve

Quelle: https://www.tine.no/om-tine/meieriene/flytende-produkter/tine-meieriet-tunga

Einleitung und Motivation
Nutzung der Wärmequellen- und Wärmesenkenseite





Ziele:

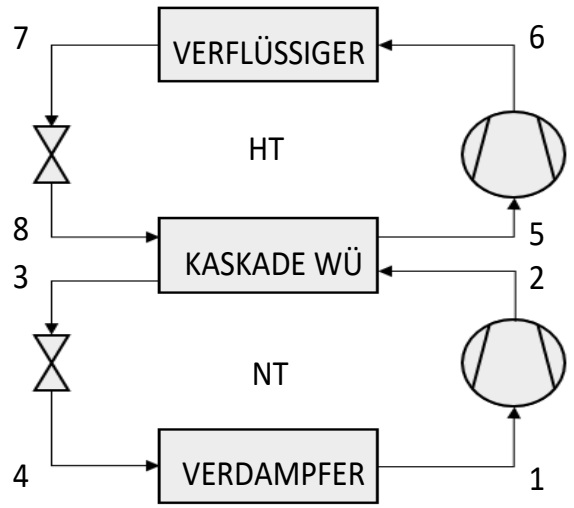
- **Nutzung der verfügbaren Abwärme**
- **Reduktion des Primärenergieverbrauches**
- **Reduktion der CO_2 Emissionen**

→ Sicherung von Produktion und Arbeitsplätzen

SINTEF

Eingesetzte Technologie

Technologievorstellung der Propan-Butan HTWP:

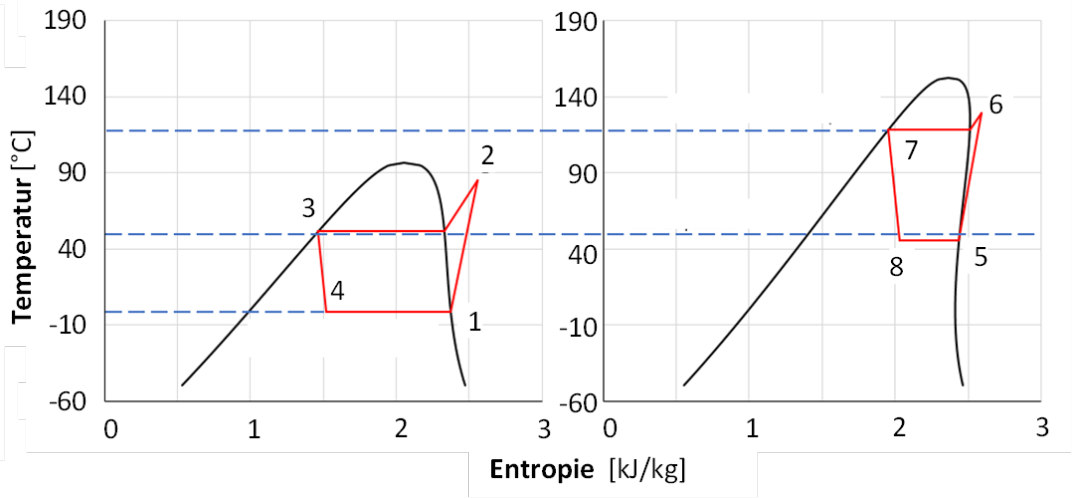


Kaskadenanlage für hohen Temperaturhub

- Niedertemperaturkreislauf R290, Hochtemperaturkreislauf R600
- Effizient für hohen Temperaturhub (70…120K) mit moderater quellen- und senkenseitige Temperaturspreizungen (<30K)
- Vergleichsweise geringes Druckverhältnis (3..6)
  Moderater Hochdruck (20bar)
- Zusätzliche Freiheitsgrade für Wärmequelltemperaturniveau

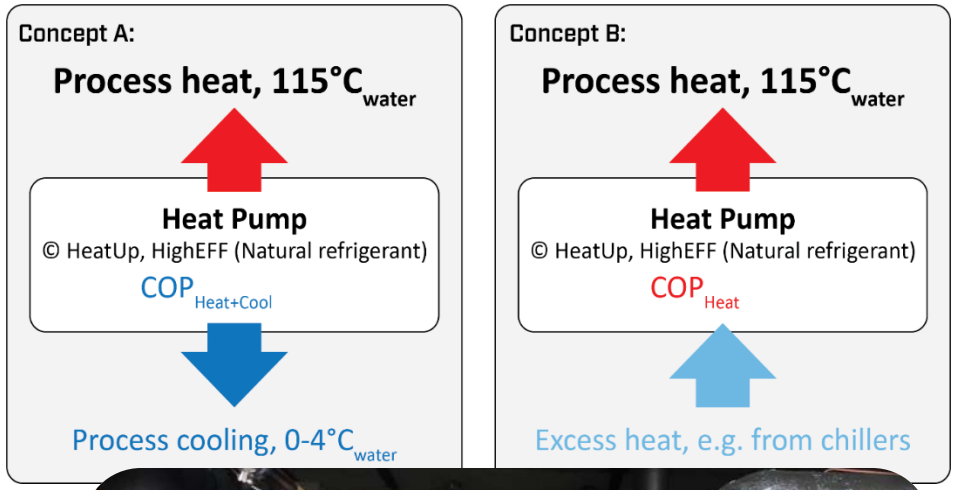
➢ **Hohe Flexibilität und Anpassbarkeit des Systems**

➢ **Hohes TRL-Niveau (HC Komponenten)**



Eingesetzte Technologie

Technologievorstellung der Propan-Butan HTWP:



Anwendungsgebiet

- Kombination aus Eiswasser- und Prozessheißwasserproduktion (Konzept A)
- Abwärmenutzung z.B.: vom Trockenkühlerkreislauf (Konzept B)

➢ **Hohe Flexibilität**

➢ **Anlagengröße von 10 kW bis ca. 1 MW+ Verflüssigerleistung**

➢ **Kohlenwasserstoffe → Natürliches Kältemittel, Zukunftssicher aber brennbar**

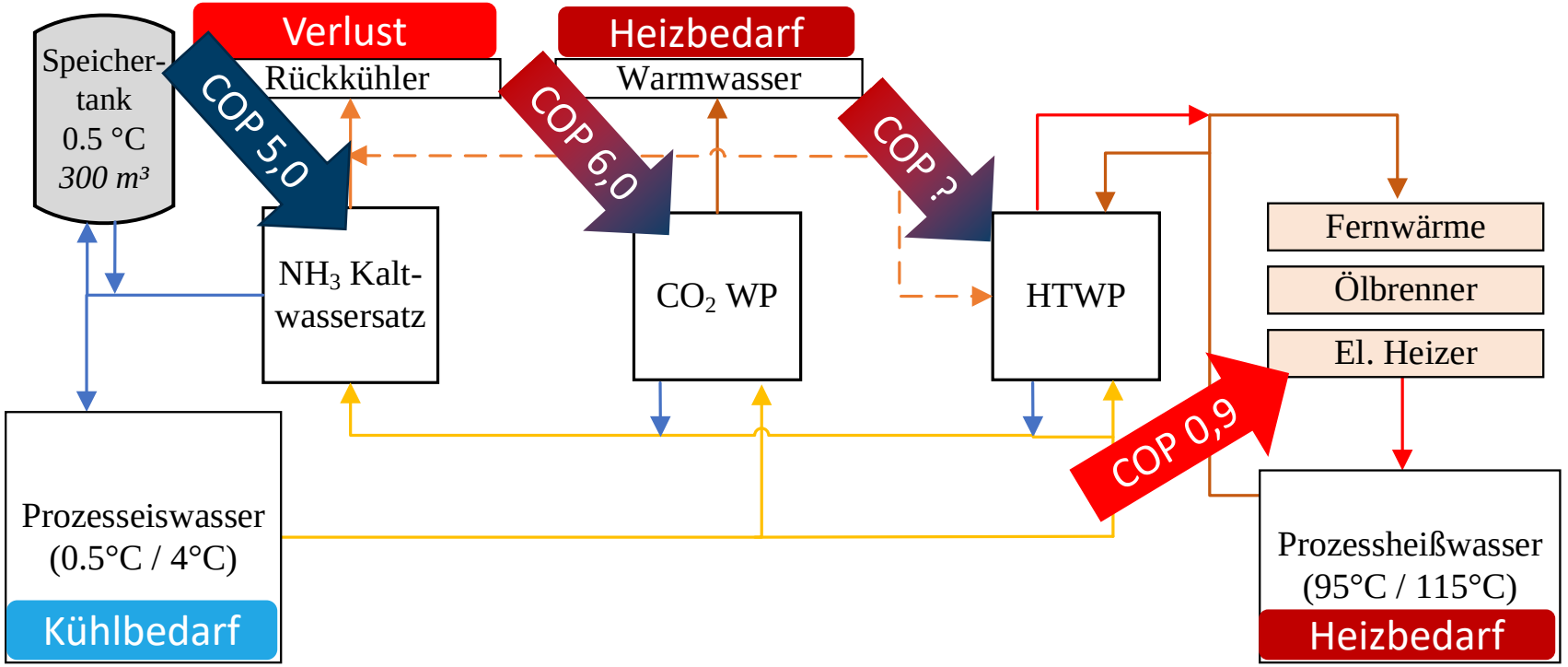
Sicherheit Konzept (A3 Kältemittel)

- DIN EN 378 – 1:2008, ISO 5149 – 1:2014
- Gute Ausbildung der Monteure und Anlagenplaner ist essenziell
  EN-13313 Refrigerating systems and heat pumps - Competence of personnel

Nachrüstung einer HTHP

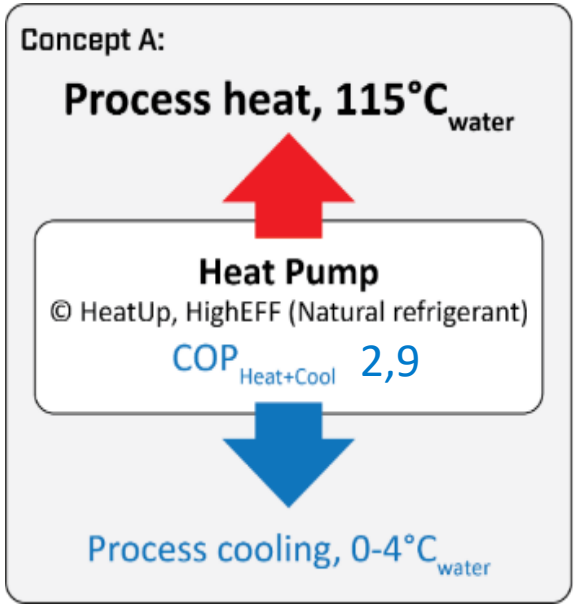
Vereinfachte Darstellung des Prozessverlaufes – Prozesseis- und Heißwasserproduktion

HTWP-Pilotanlage in Serienkopplung mit KWS und Prozessbereitstellung → 100% Backup



Direkte Ersparnisse der Pilotanlage
Kombinierte Eiswasser- und Prozessheißwasserbereitstellung

- Analysezeitraum August 2021 bis November 2021
  - 101 Tage Betriebszeit - August bis November
- Eiswasser- und Prozessheißwasserproduktion
  - Prozessheißwasser — Messung: 25,1 MWh/Woche; Potenzial*: 47,0 MWh/Woche
  - Eiswasser — Messung: 12,1 MWh/Woche; Potenzial*: 22,7 MWh/Woche
  - Nutzungsgrad → Messung/Potenzial: 53 %
  - Einsparung — Energiemenge: 16,1 MWh_{el}/Woche**; CO_2-Emissionen: 55,3 % **



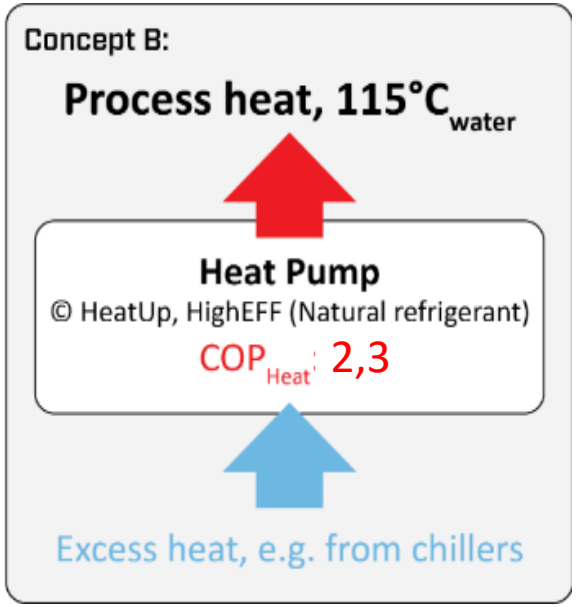
* Verflüssigerleistung 280kW, Verdampferleistung 135kW, 24/7

**Referenzsystem: Direkt elektrisch Heizen η=0,95, R717-KWS Leistungszahl=4,5

Direkte Ersparnisse der Pilotanlage Prozessheißwasserbereitstellung mit R717-KWS-Abwärme

- Analysezeitraum November 2021 bis Juni 2022 - 221 Tage Betriebszeit

- Prozessheißwasserproduktion von R717-KSW-Abwärme
  - Prozessheißwasser — Messung: 40,1 MWh/Woche; Potenzial*: 55,4 MWh/Woche
  - Eiswasser — Messung: 0 MWh/Woche; Potenzial*: 0 MWh/Woche
  - Nutzungsgrad → Messung/Potenzial: 72 %
  - Einsparung — Energiemenge: 24,8 MWh_{el}/Woche**; CO_2-Emissionen: 58,7 % **

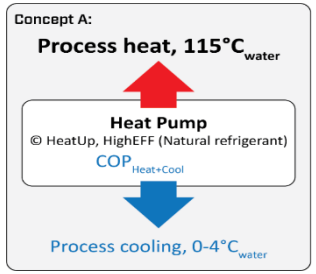


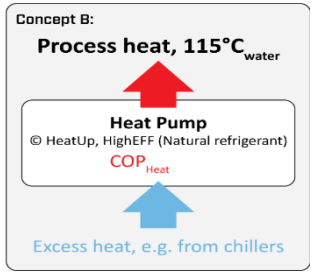
* Verflüssigerleistung 330kW, Verdampferleistung 0kW, 24/7

**Referenzsystem: Direkt elektrisch Heizen η=0,95

Direkte Ersparnisse der Pilotanlage - Zusammenfassung

- Analysezeitraum August 2021 bis Juni 2022 → Energieeinsparung von 59 Norwegischen Einfamilienhäusern (16000kWh/a)
- Eiswasser- und Prozessheißwasserproduktion 101 Tage
  - Prozessheißwasserpotenzial 47,0 MWh/Woche
  - Eiswasserpotenzial 22,7 MWh/Woche
  - 53% Nutzungsgrad, COP = 2,9 → η_c=0,53
- Abwärmenutzung vom R717-KWS 221 Tage
  - Prozessheißwasserpotenzial 55,4 MWh/Woche
  - Eiswasserpotenzial 0 MWh/Woche
  - 72% Nutzungsgrad, COP = 2,3 → η_c=0,62

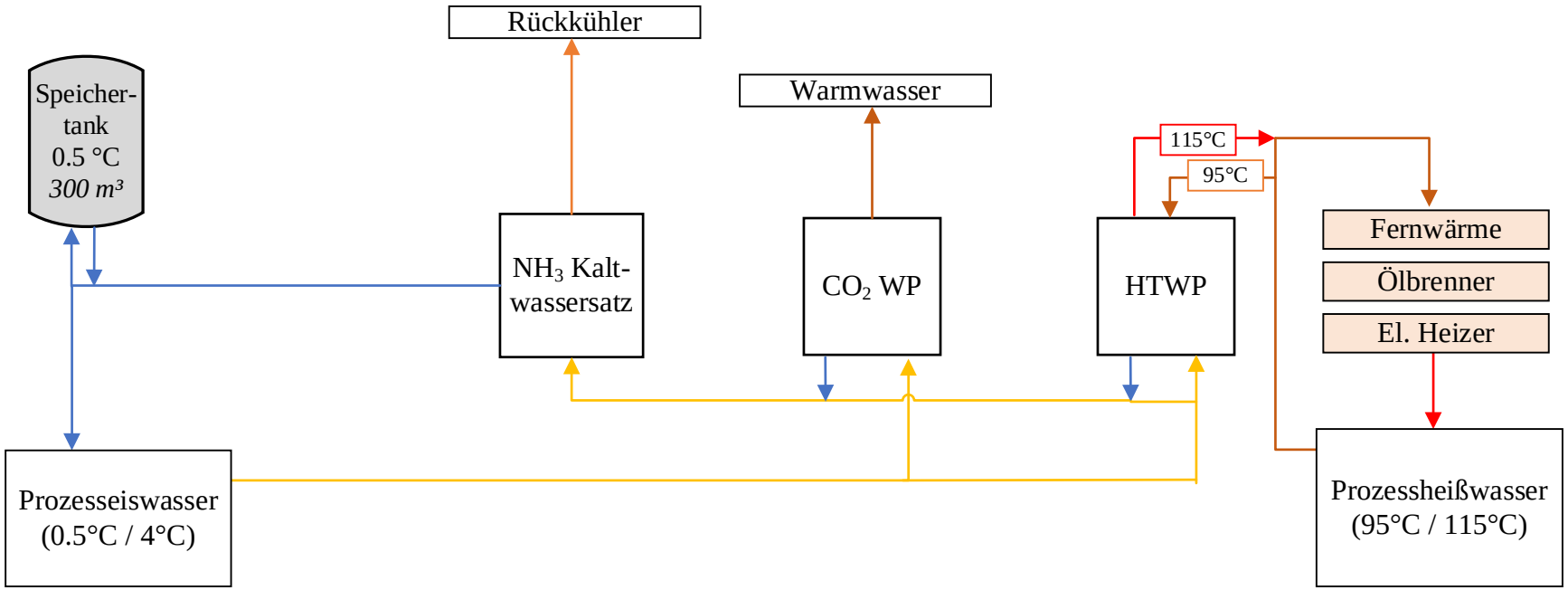




Nutzungsgrad der Abwärmenutzung (Konzept B) ist höher als Eiswasser- und Prozessheißwasserproduktion (Konzept A). Wieso?

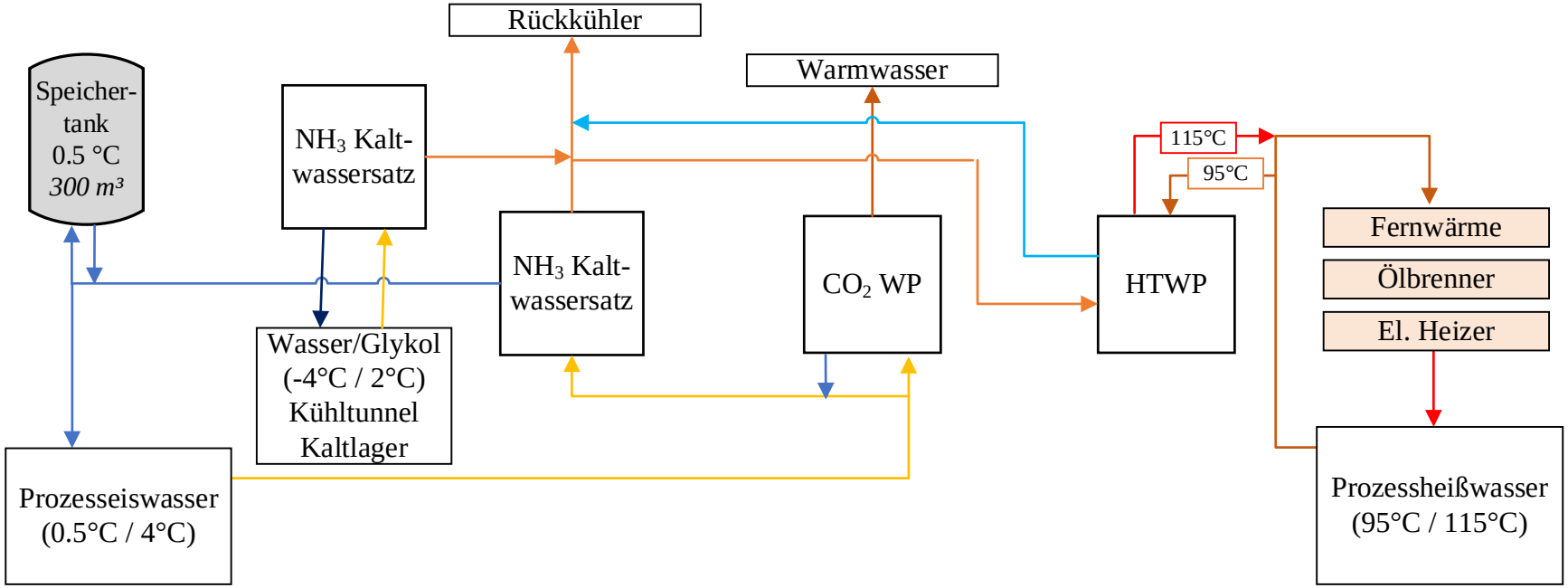
Integrationsvergleich

Vereinfachte Darstellung des Prozessverlaufes Prozesseis- und Heißwasserproduktion



Integrationsvergleich

Vereinfachte Darstellung des Prozessverlaufes Abwärmenutzung vom R717-KWS



"Erschließung" von zwei zusätzlichen Wärmequellen 1) R717-KWS Verdichter,
2) Kühllager + Kühltunnel

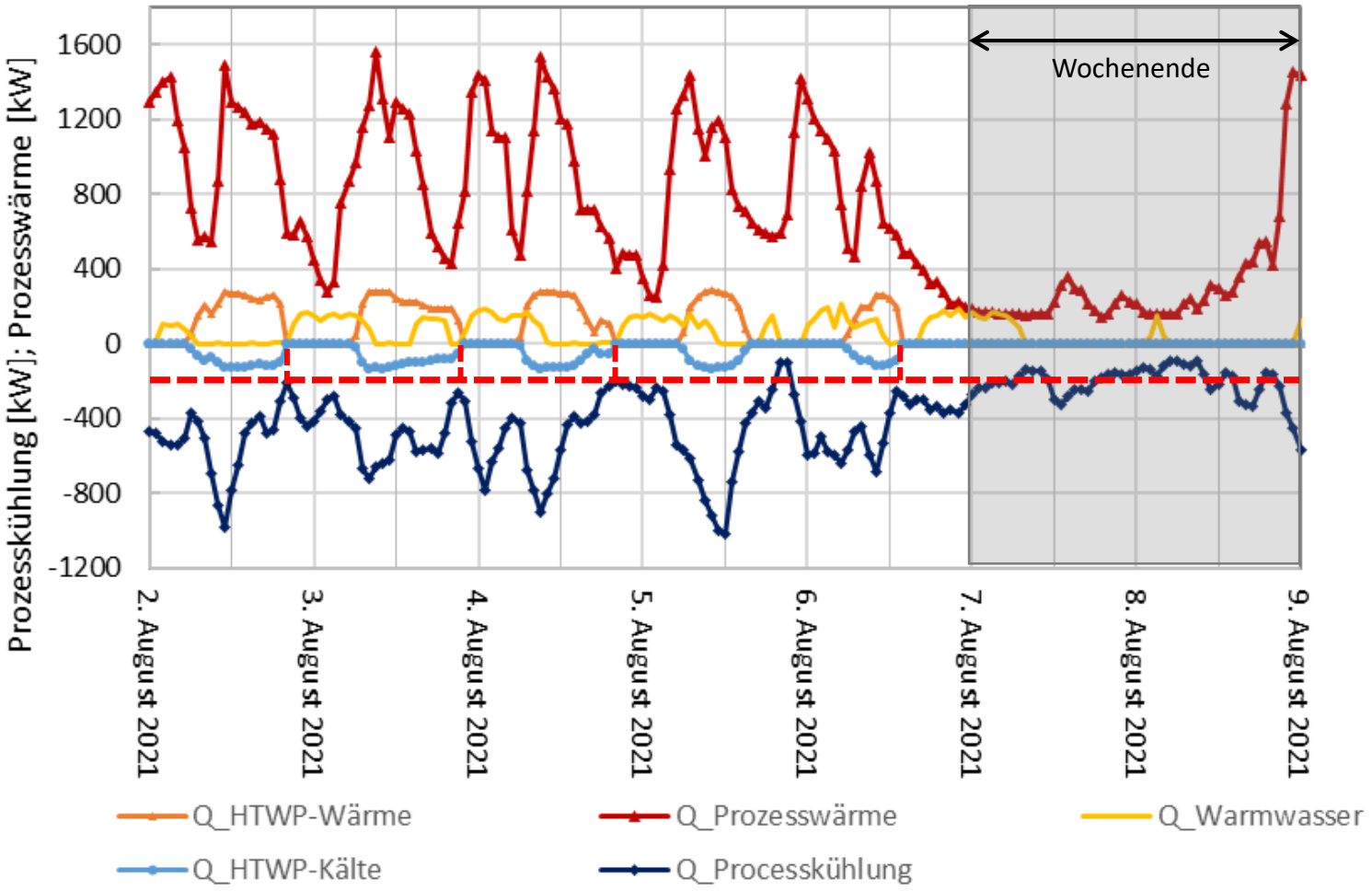
Betriebsverhalten
Kombinierte Eiswasser- und Prozessheißwasserbereitstellung

Charakteristik

- Zyklischer Prozesswärmebedarf
- Zyklischer Kältedarf
- Minimalverbrauch am Wochenende

HTWP Integration verdampferseitig erfolgt mit Vereisungsschutz

- Zugang zu ausreichend Eiswasser/Wärmequelle verhindert kontinuierlichen Betrieb
- 300m³ Eiswasserspeicher wird kaum genutzt



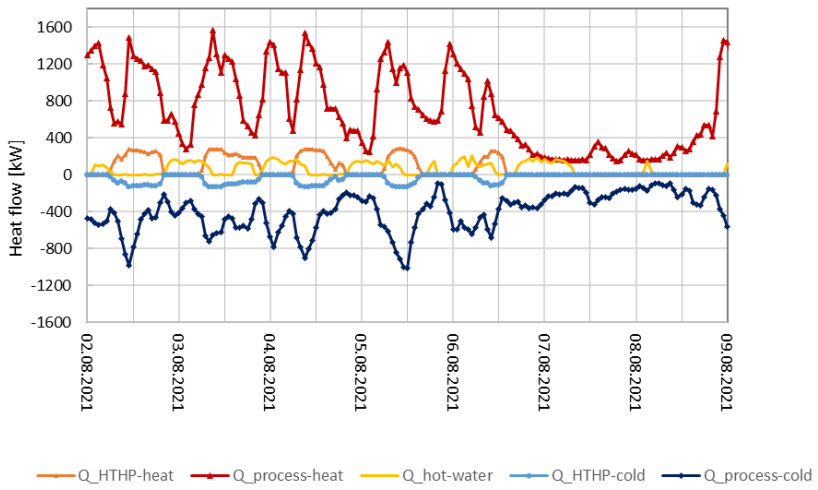
Verbesserungspotenzial
Kombinierte Eiswasser- und Prozessheißwasserbereitstellung

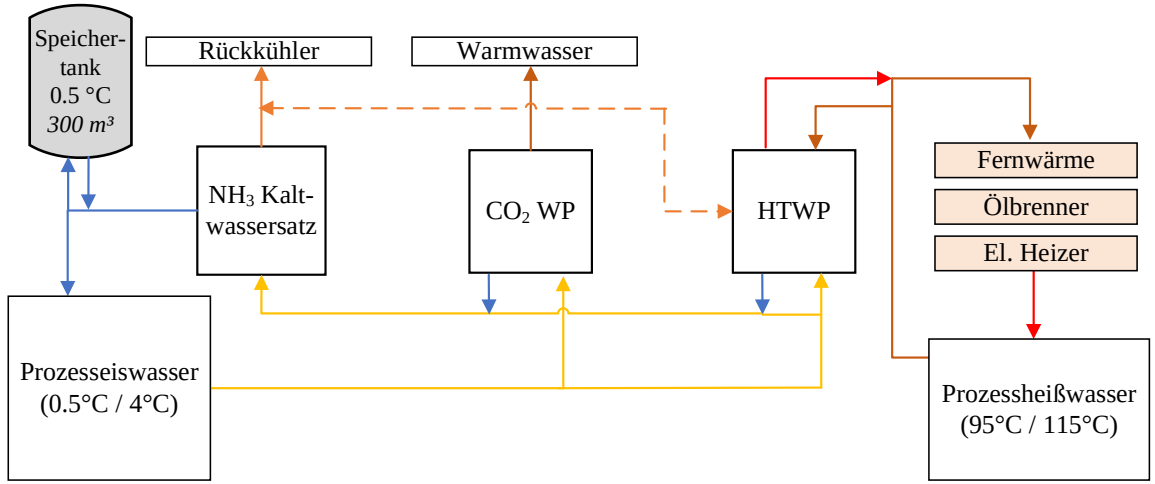
Verbesserung der HTWP

- Feineinstellung des Vereisungsschutzes
- Erweiterter Teillastbereich

Verbesserung der Integration

- 300m³ Eiswasserspeicher aktiv nutzen, Integrationskonzept überarbeiten → direkte Speicherkühlung mit HTWP

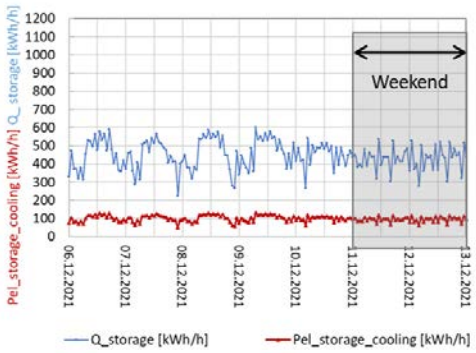


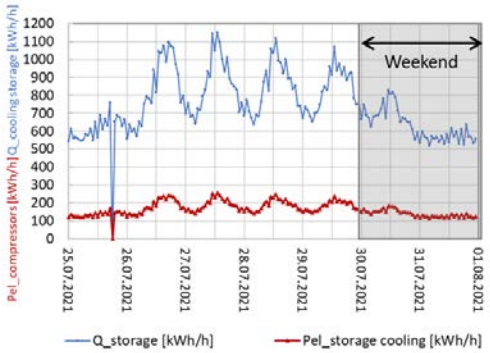


Verbesserungspotenzial
Kombinierte Eiswasser- und Prozessheißwasserbereitstellung

Erschließen von weiteren Wärmequellen

- Kühllager und Kühltunnel
  - Winter: 400kW bis 600kW
  - Sommer: 500kW bis 1200kW
  - Temperaturniveau -2°C/4°C





Erforderliche Anpassungen

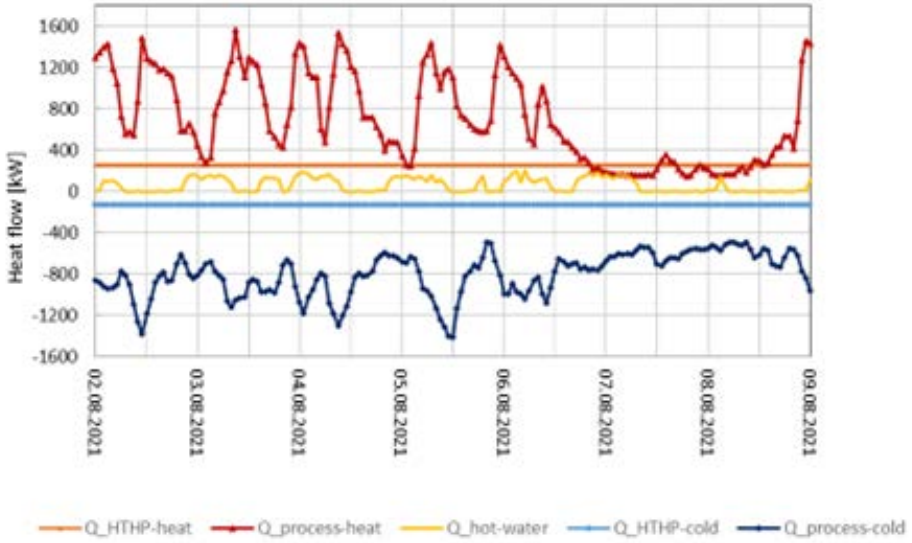
- Absenken von T_{0_HTWP} = -9°C

→ Erweiterung des Betriebsbereiches / Größere R290 Kompressoren

- Zusätzlicher Wärmetauschern für Kühllager/Kühltunnel Kreis

→Nutzungsgrad 96 %

→Möglichkeit für Installation einer zweiten Anlage



Schlussfolgerungen

Langzeitanalyse von

- Eiswasser- und Prozessheißwasserproduktion 101 Tage
  - 53% Nutzungsgrad, COP = 2,9 → η_c=0,51
  - Einsparung Energiemenge 16,1 MWh_{el}/Woche
    CO_2-Emissionen 55,3 %
- Abwärmenutzung vom R717-KWS 221 Tage
  - 72% Nutzungsgrad, COP = 2,3 → η_c=0,61
  - Einsparung Energiemenge 24,8MWh_{el}/Woche
    CO_2-Emissionen 58,7 %

➢ **Prozessintegration ist der Schlüssel zum Erfolg → Wärmequellen und senken Charakteristik ist essenzieller Bestandteil**

➢ **KWS, WP und HTWP mit natürlichen Kältemittel sind optimal für eine nachhaltige und effiziente Produktion im Nahrungsmittelbereich**

SINTEF

SkaleUP ist eine **HTWP Erfolgsgeschichte! Von der idee zum industriellen Pilot/Produkt**

Cadio

2011 Garage testing
R600 Heat pump

SkaleUP

:skala fabrikk

R&D focus on system level

2019 IPN-SkaleUP 2022

OFFICINE MARIO DORIN SINCE 1920 DORIN INNOVATION

TINE

SINTEF

Cadio

NTNU
Norwegian University of Science and Technology

Proof of concept

2015 KPN- HeatUP 2018

2016

HighEFF

R&D focus on component level

2024

HighEFFLab

Ein Zentraler Faktor ist das langfristige Ziel der <u>TINE SA</u> und die Unterstützung des The Research Council of Norway SINTEF

Danke für Ihre Aufmerksamkeit

The authors would also like to acknowledge the support of The Research Council of Norway and the industrial partners through the grans:

NFR-296374
SkaleUp "Sustainable and efficient heat pump development for combined process heat and cold"

and

NFR-257632/E20
FME-HighEFF Centre for Environment-friendly Energy Research.

Email: christian.schlemminger@sintef.no
Telefon: +47 41 063 418