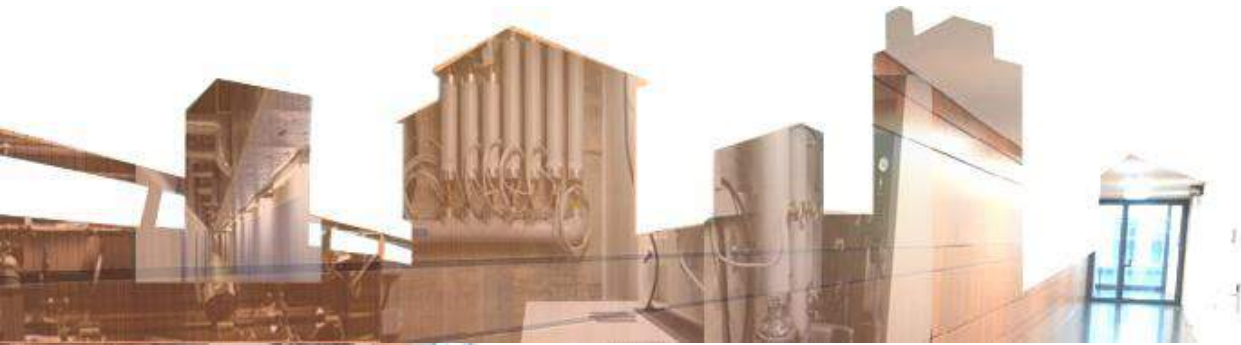


Kühlen in Wohngebäuden im Kontext effizienter Wärmepumpensysteme

Christian Erb / Marc Bättschmann

Halter Immobilien AG / BS2 AG



Christian Erb



Leiter Energie und Gebäudetechnik
Halter Immobilien AG

Direkt +41 44 438 28 66

Mobile +41 78 833 28 66

christian.erb@halter.ch

Marc Bättschmann



Geschäftsführer
BS2 AG

+41 44 275 25 03

baetschmann@bs2.ch



Kühlen über Erdwärmesonden in Wohngebäuden

Mit Erdwärmesonden kann man im Sommer gratis kühlen
Ein grosser Vorteil von Erdwärmesonden (EWS) ist, dass sie in Kombination mit einer Flächenheizung (oder ev. einer Luftheizung/-kühlung) auch zur Gratiskühlung eines Gebäudes eingesetzt werden können. Dieser Kühlbetrieb erhöht den Komfort im Sommer und ermöglicht eine teilweise Regeneration

Quelle: <http://www.erdsondenoptimierung.ch>

Stand der Technik:

- Sommerliche «Raumentwärmung» wird zunehmend gefragt: Komfortsteigerung bei «geringem Mehraufwand»
- Kühlung trägt etwas zu Steigerung Systemeffizienz bei (Beitrag zu Regeneration, allerdings eher bescheiden)
- Freies Kühlen mit einzelnen untiefen Sonden funktioniert gut
- Systemoptimierung des Erdsondensystems führt zu hohen Verdampfungstemperaturen
- Regeneration von Erdsondenfeldern nimmt zu: getrieben durch Wirtschaftlichkeit, Ökologie und Vorschriften

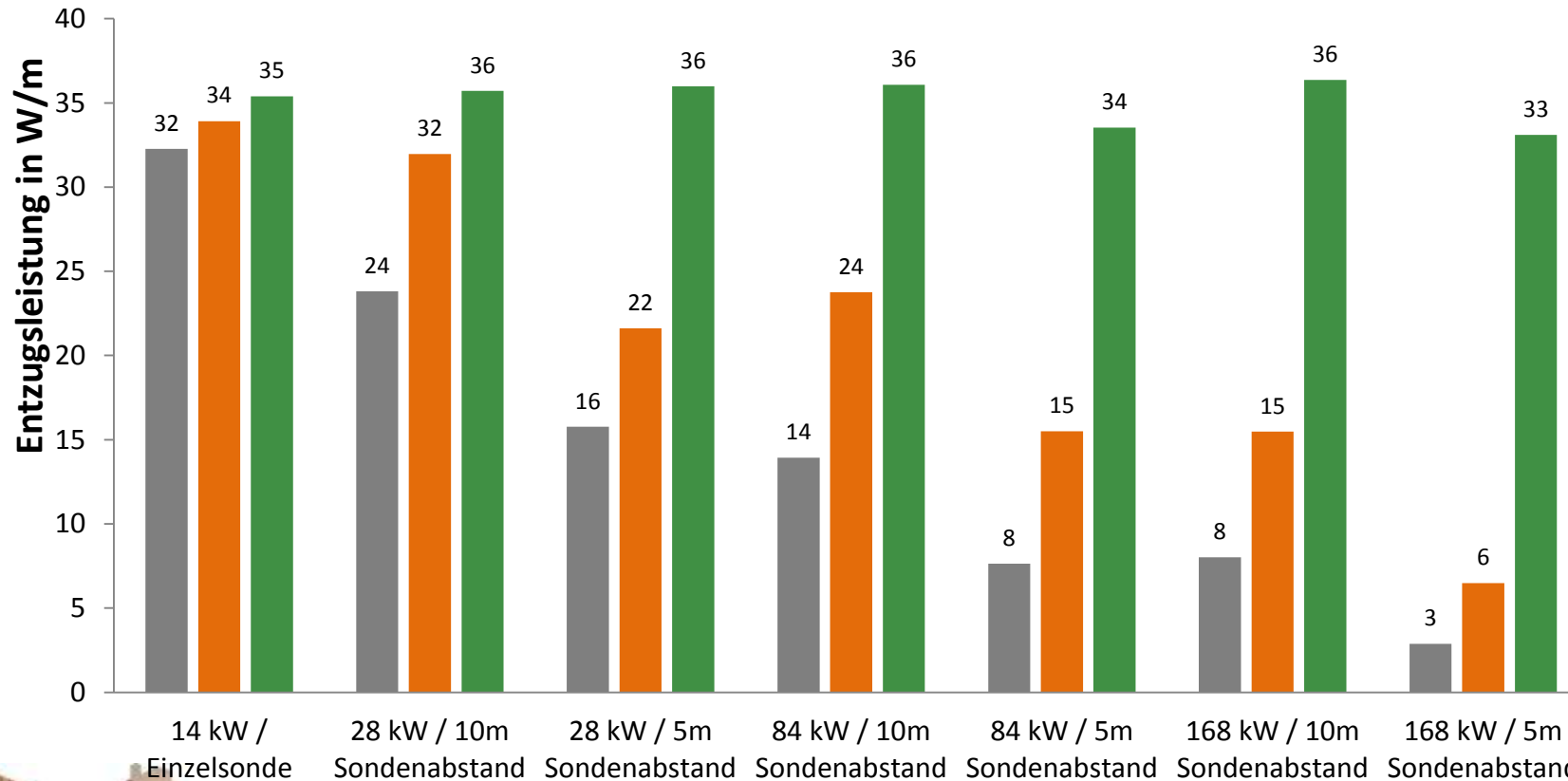


Regeneration wird zunehmend wirtschaftlich

Entzugsleistung Erdwärmesonde

Sondenlänge 390-450m
 min. 4°C Eintritt nach 50 Jahren
 Wassergefüllte Sonden

- Ohne Regeneration
- 50% Regeneration
- 100% Regeneration



Simulationen mit EWS – Parameter:

- Sondenlänge 390-450m; min. 4°C Eintritt nach 50 Jahren; Wassergefüllte Sonden
- PVT-Ertrag bei 50% Regeneration: 350 kWh/m² Ø-Wert über 50 Jahre
- PVT-Ertrag bei 100% Regeneration: 300 kWh/m² Ø-Wert über 50 Jahre

Kühlen über Erdwärmesonden

Konflikt

- Gleichzeitigkeit Kühlbedarf mit (solarer oder aussentemperaturabhängiger) Regeneration
- Freies Kühlen vs. Hohe Verdampfungstemperaturen der WP
- Wirtschaftliche Optimierung der Erdsonden (Reduktion EWS-Laufmeter und Erdsondenabstand) führt zu zunehmendem Regenerationsbedarf
- Temperaturniveau untiefe (100-200m) und tiefe Sonden (ab 250m)

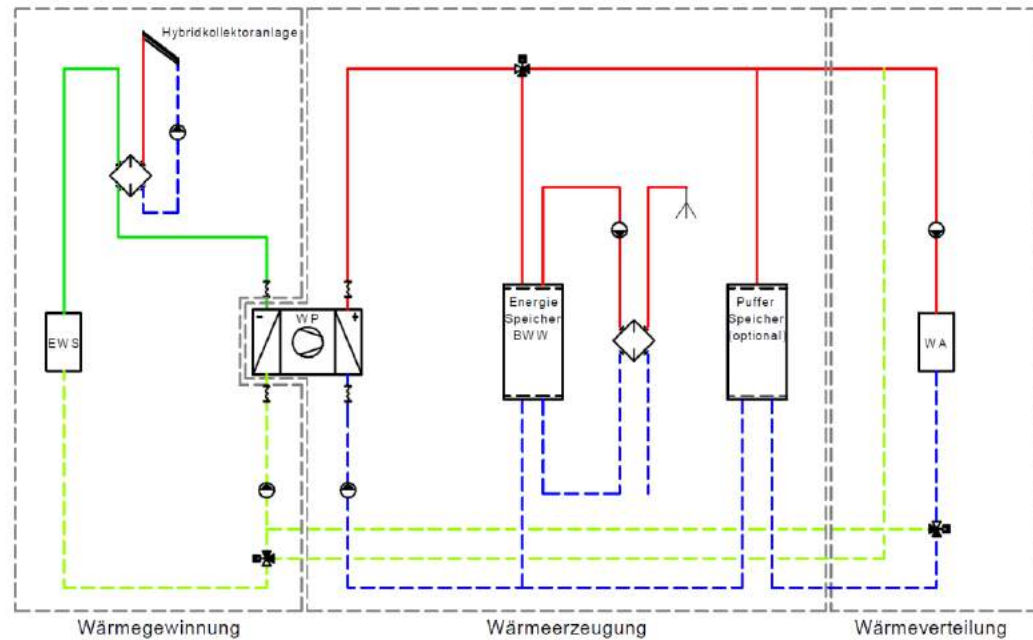
Chancen

- Gleichzeitigkeit Solarstrom und Kühlbedarf
- Ökonomisch/Ökologische Gesamtoptimierung möglich

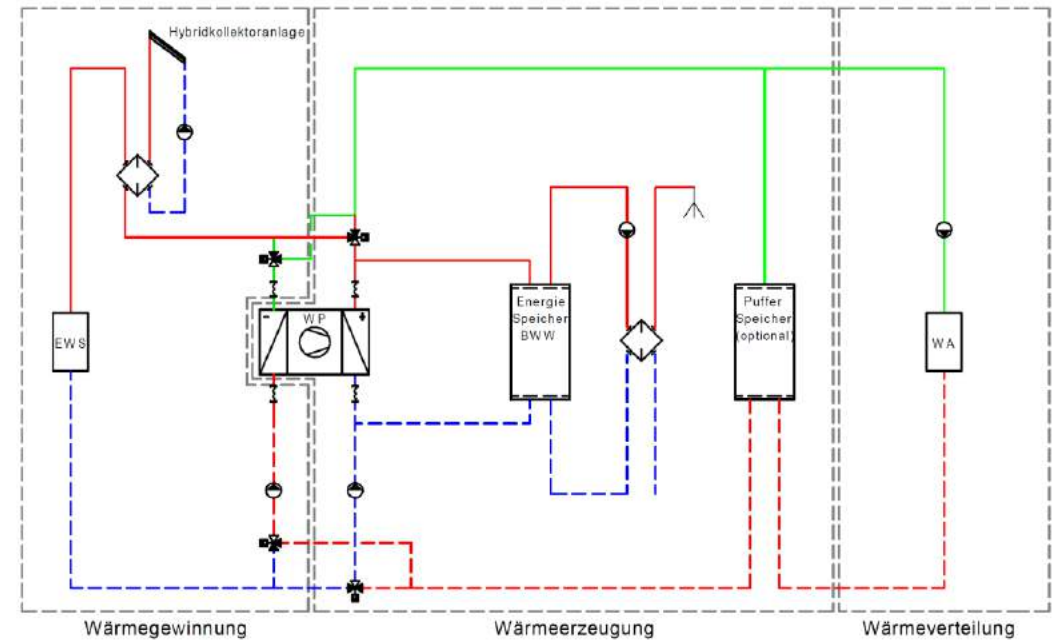


Prinzipschema Kühlen

Freies Kühlen:



Maschinenkühlung:



2SOL Projekt «Rossweid Gockhausen»

Grundlage:

- Heizung über TABS (30°C/27°C, 28°C/25°C, 18 W/m²), 3-Leiter-System
- Wunsch nach Gebäudekühlung (max. 10 W/m², 80 kW)

Variantenstudie:

- Kombination tiefer und weniger tiefer Erdsonden
→ komplexe Hydraulik und Regelung, kritische Lastspitzen – doppeltes Sondenfeld wäre nötig
- Nutzung von Kälte aus der Brauchwarmwassererwärmung
→ sehr effizient, doch zu tiefe Kälteproduktion durch die Wassererwärmung für «Wohnen»
- Nur tiefe Erdsonden mit freier Kühlung
- Nur mechanische Kühlung
- Kombination aus Varianten



Regelung: Betriebszustände

1. **Heizbetrieb** WP – Quelle : Anergienetz + Hybridkollektoren; Abgabe: TABS
2. **Regenerationsbetrieb:** Hybridkollektoren laden Anergienetz
3. **BWW-Ladebetrieb** WP – Quelle: Anergienetz + Hybridkollektoren; Abgabe BWW
4. **BWW-Ladebetrieb mit Kältenutzung** WP – Quelle: TABS (Sommer Tagbetrieb) und Wärmeabgabe an Sonden (Regeneration)
5. **Freecoolingbetrieb** Anergienetz kühlt TABS (Übergangszeit) – Hybridkollektoren regenerieren Erdsonden solange Temperaturen nicht verhindern
6. **Maschinenkühlbetrieb** WP kühlt TABS, Abwärme in Anergienetz, parallele Regeneration in Anergienetz mit Hybridkollektoren, (Betrieb ausserhalb die BWW-Ladung)
7. **Eigenverbrauchs-optimierung PV-Strom** Mögliche Betriebsarten zur Optimierung Eigenverbrauch:
Zwangsladung für BWW-Ladebetrieb Nr. 3 oder Nr. 4 (je nach aktueller PV-Leistung)
Sollwerterhöhung WP im Heizbetrieb Nr. 1
Sollwertbegrenzung der WP für eine begrenzte bestimmte Dauer (Reserve für nächste Strom-Überschuss-Phase)

8.

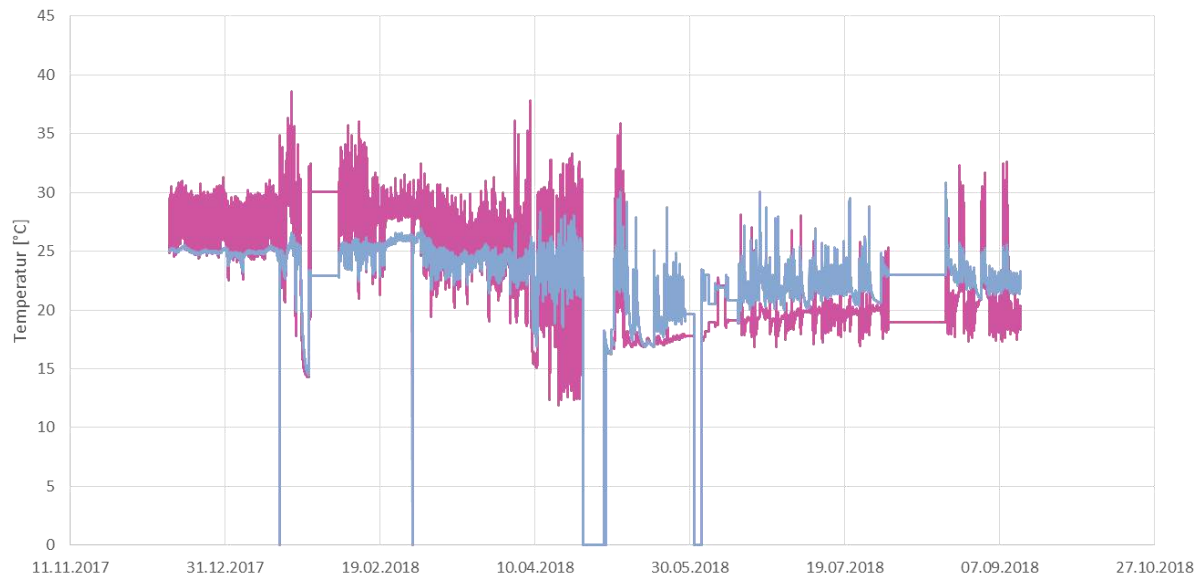


Messresultate Projekt Sentmatt, Obfelden

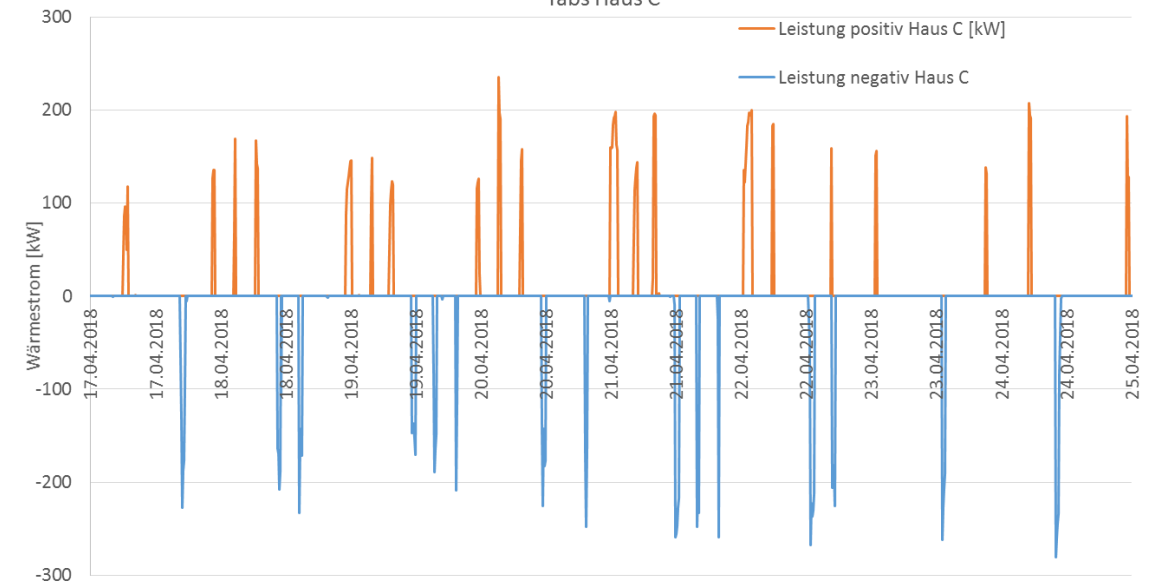
- Winter VL 30 °C teilweise bis 35°C → Regelung
- Sommer Freecooling Tabs Eintritt 18°C Austritt 23°C

Herausforderung Regelung: Übergangszeit:
 Nachts heizen und Tagsüber kühlen

Tabs Vor und Rücklauftemperatur Haus C



Tabs Haus C

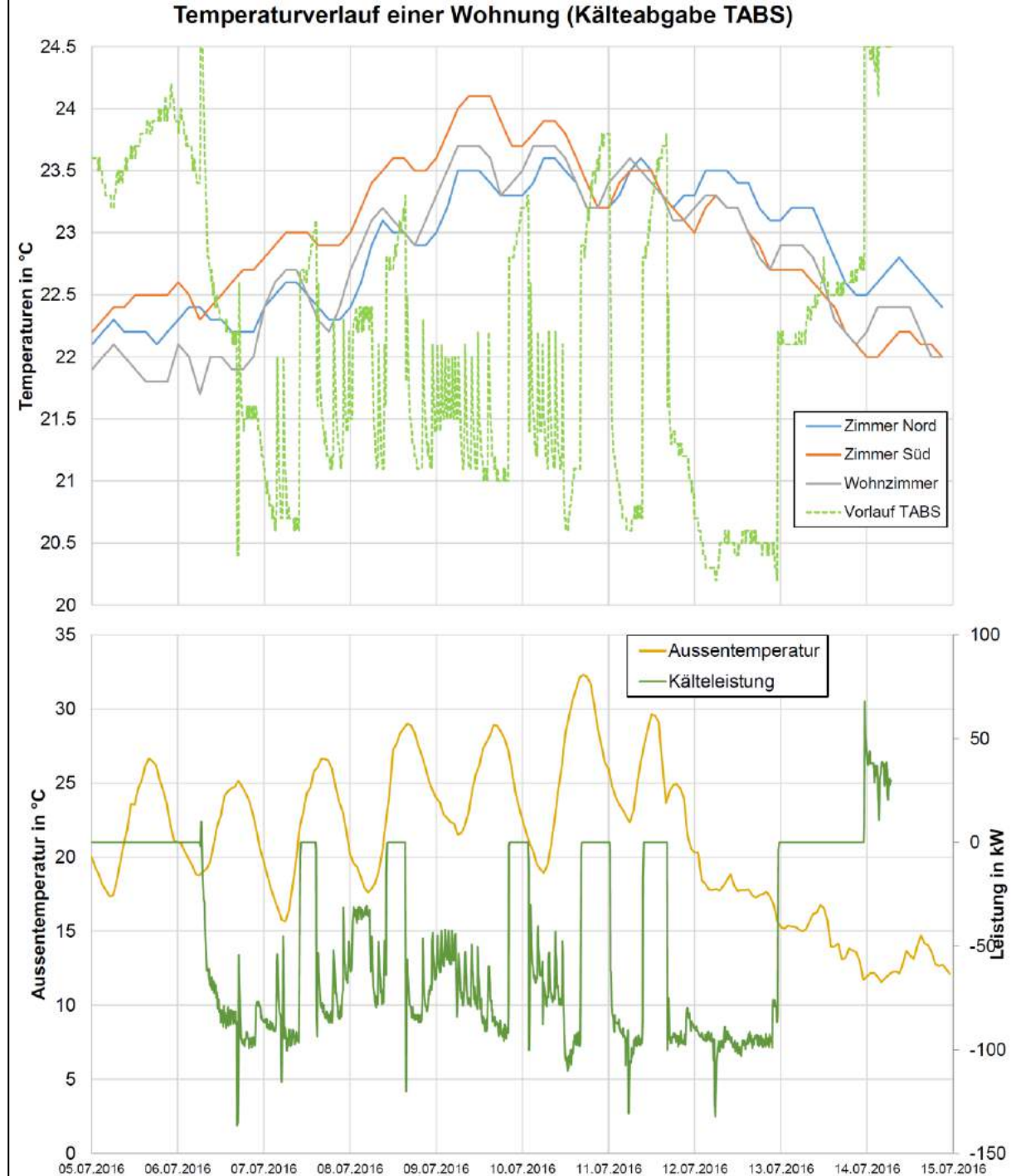


Messresultate Crestapark

- Raum-Komforttemperaturen können gut eingehalten werden
- Vorlauftemperatur TABS nicht unter 20 °C
- Leistungspotential noch nicht ausgereizt



19.06.2019



Tiefe Erdsonden und freie Kühlung, geht das?

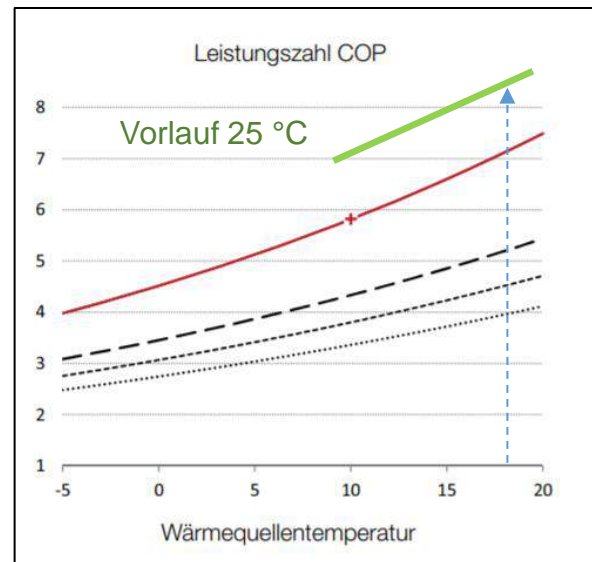
- Spitzenlast der solaren Regeneration fällt auf den höchsten Kältebedarf
- =>Ungenügend zuverlässige Kälteversorgung
- Tiefe Sonden in optimierter Geometrie für den Heizfall sind für den Kühlfall ungünstig
- Wenn Kühlung gewünscht (gefordert), dann ist Auslegung auf Freecooling nicht sinnvoll



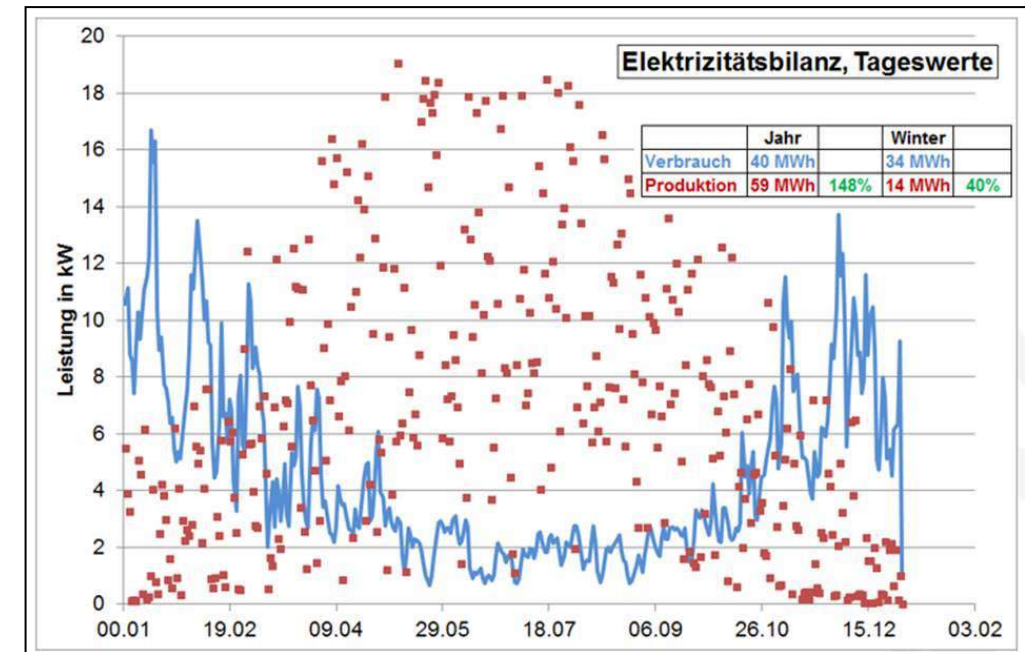
Bereitstellung von mechanischer Kälte

- Intern umschaltbare WP/KM;
 vorteilhaft Invertermaschine
 – ansonsten Kältespeicher
- Im Betrieb der Kältemaschine:
 Rückkühlung über die Sonden
- Zuverlässige
 Kühlleistung –
 jedoch Strom-
 verbrauch
 (allerdings
 bei hohem EER)

COP(Wärme) einer
 Standard-Wärmepumpe
 (EER = ca. COP-1)



- Der Strombedarf kann zum grössten Teil
 über PV-Strom (Eigenverbrauch)
 gedeckt werden.



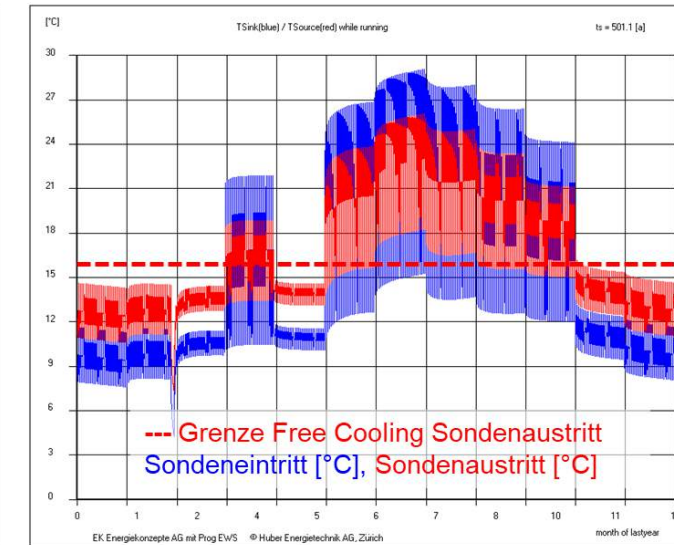
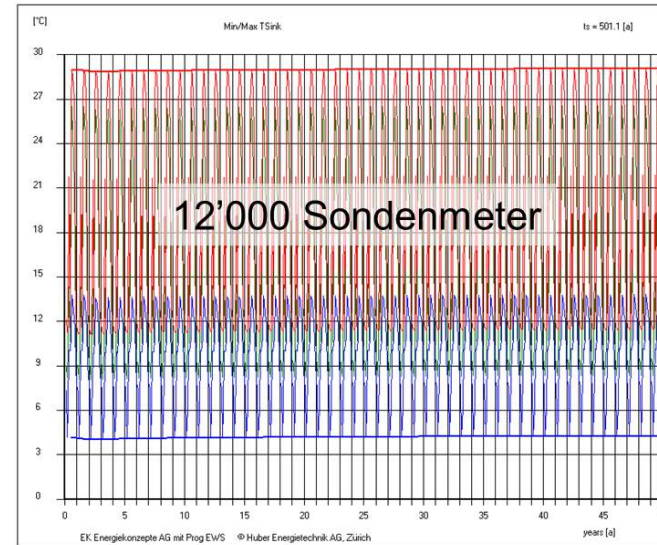
Elektrischer Verbrauch Wärmepumpe und Produktion der PV-Anlage



Ökonomische Optimierung

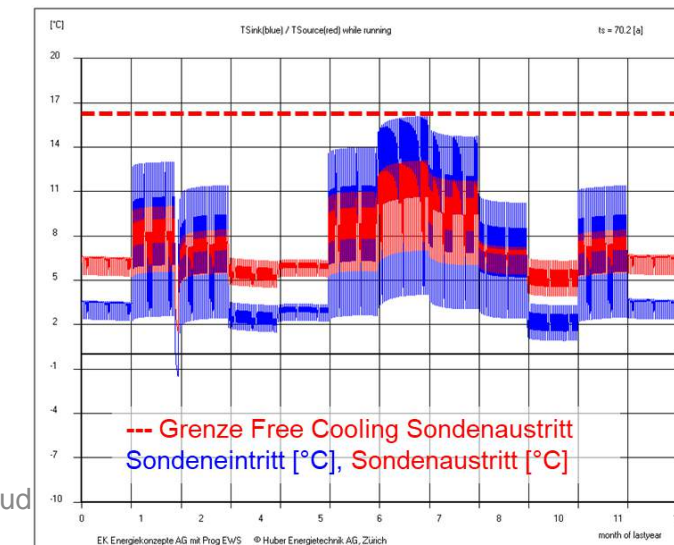
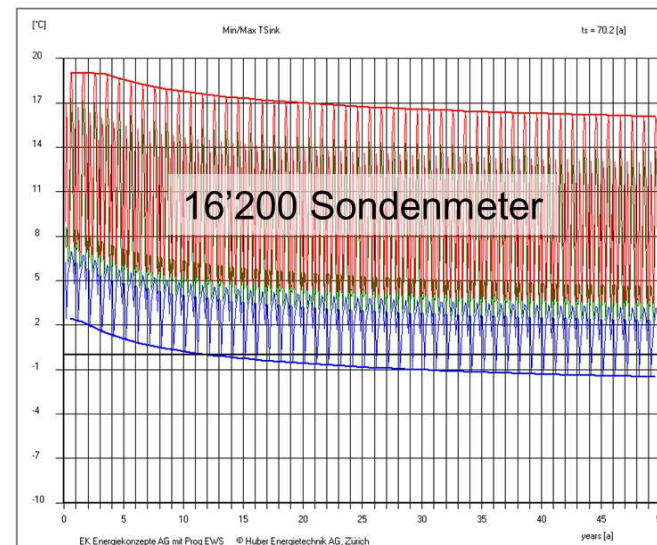
Auslegung Heizfall

- Sehr effiziente Heizwärmeerzeugung (ca. 13°C mittlere Sondaaustrittstemperatur)
- 30 x 400 m (50 mm), 100% Regeneration, Wasser 4°C



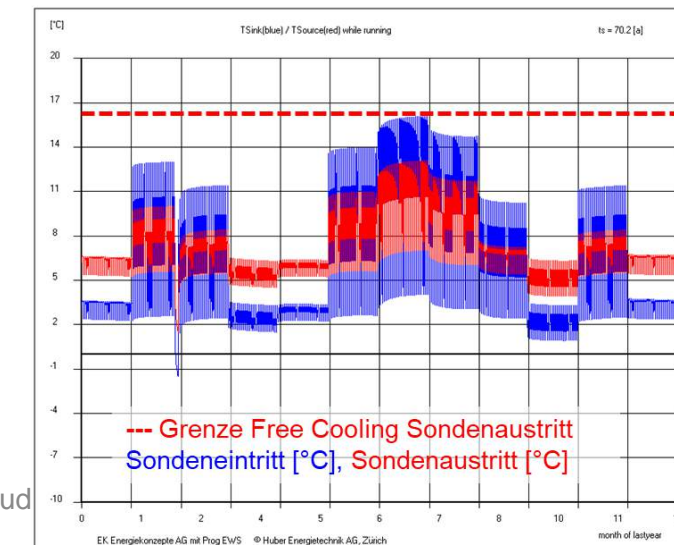
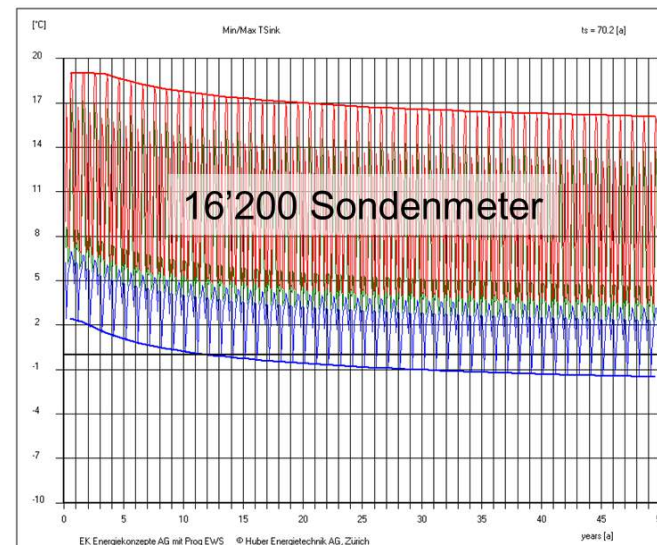
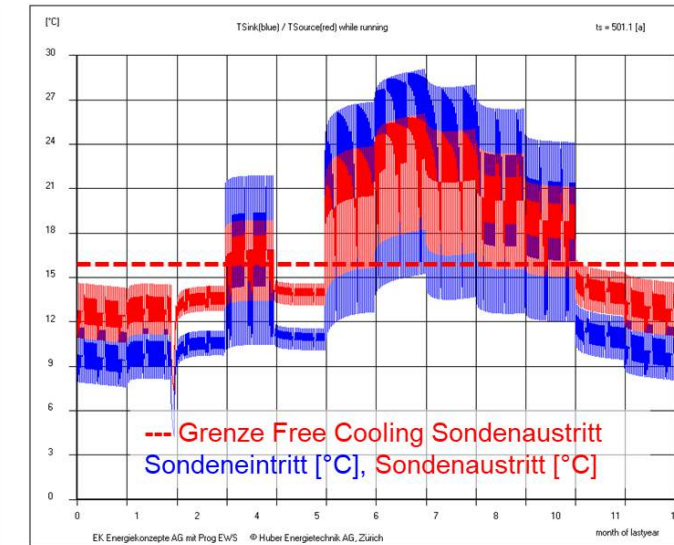
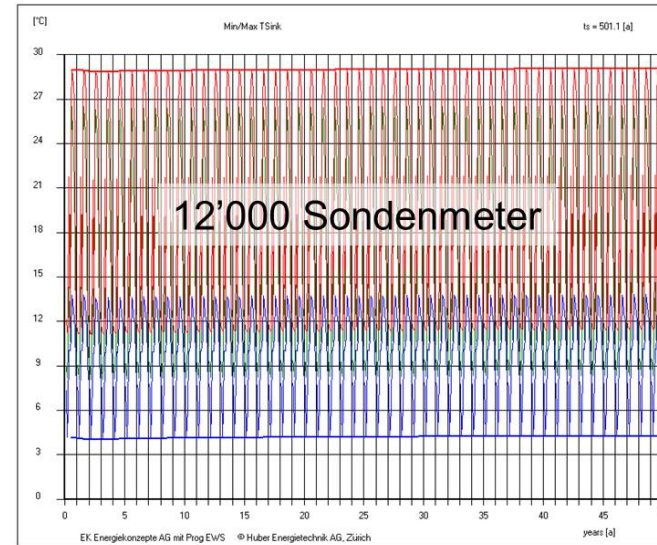
Auslegung Free-Cooling

- Günstige Kälte, aber teurer Heizfall (ca. 7°C mittlere Sondaaustrittstemperatur)
- 108 x 150 m Sonden (32 mm), 60% Regeneration, Glykol -3°C



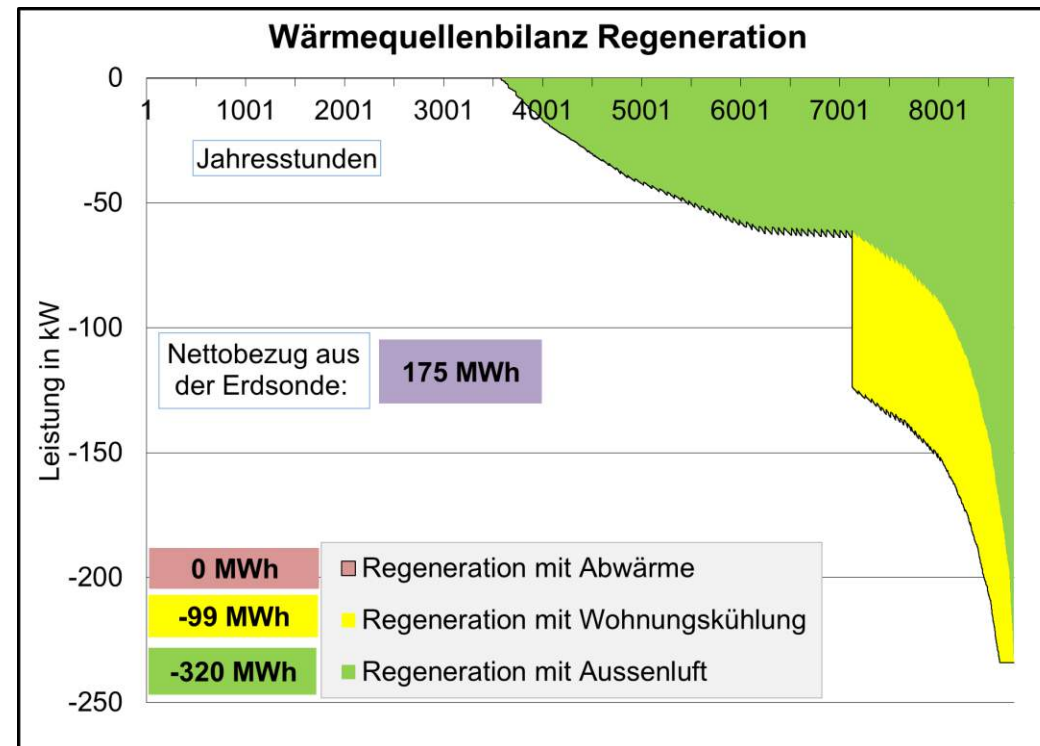
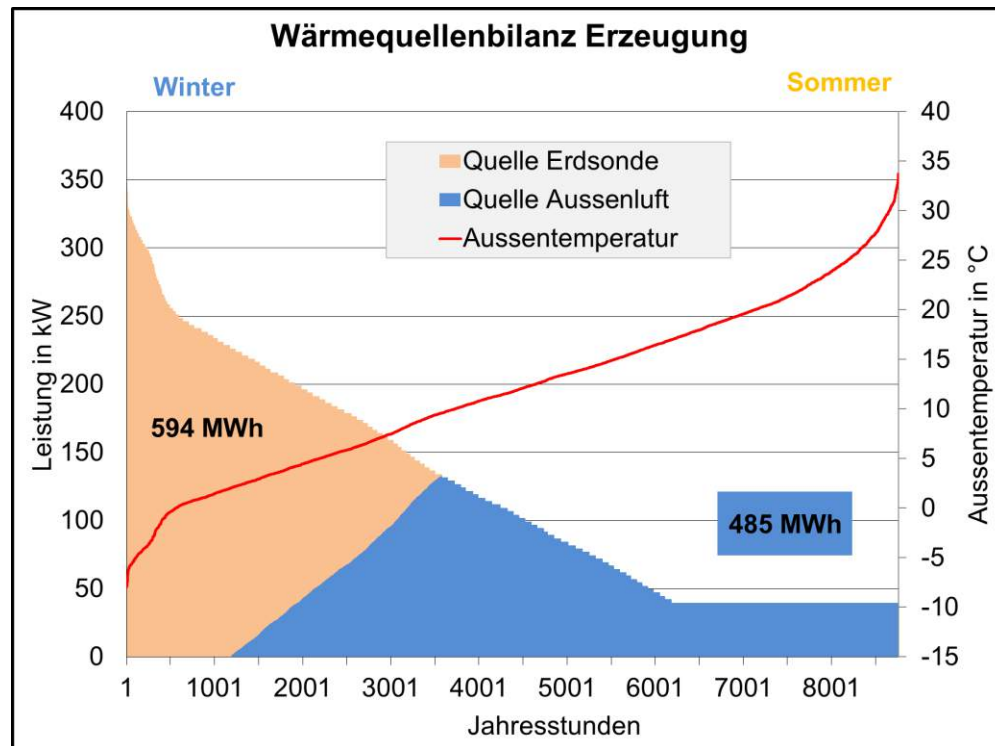
Ökologische Optimierung

- Minderbedarf an Elektrizität für die Heizung übersteigt den Mehrbedarf an Elektrizität für Stromdarf für die Kühlung deutlich (höhere Wintertemperatur spart mehr Strom als durch Free-Cooling gespart wird!)
- Minderbedarf an Elektrizität vor allem im Winterhalbjahr
- Einsatz der grauen Energie für zusätzliche 4'200 Laufmeter inklusive zusätzliche Verbindungsleitung und Gräben enorm
- Wärmequellenoptimierung auch im Kontext der Umstellung fossiler auf erneuerbarer Energie im Bestand von grosser Bedeutung (Platzbedarf!)

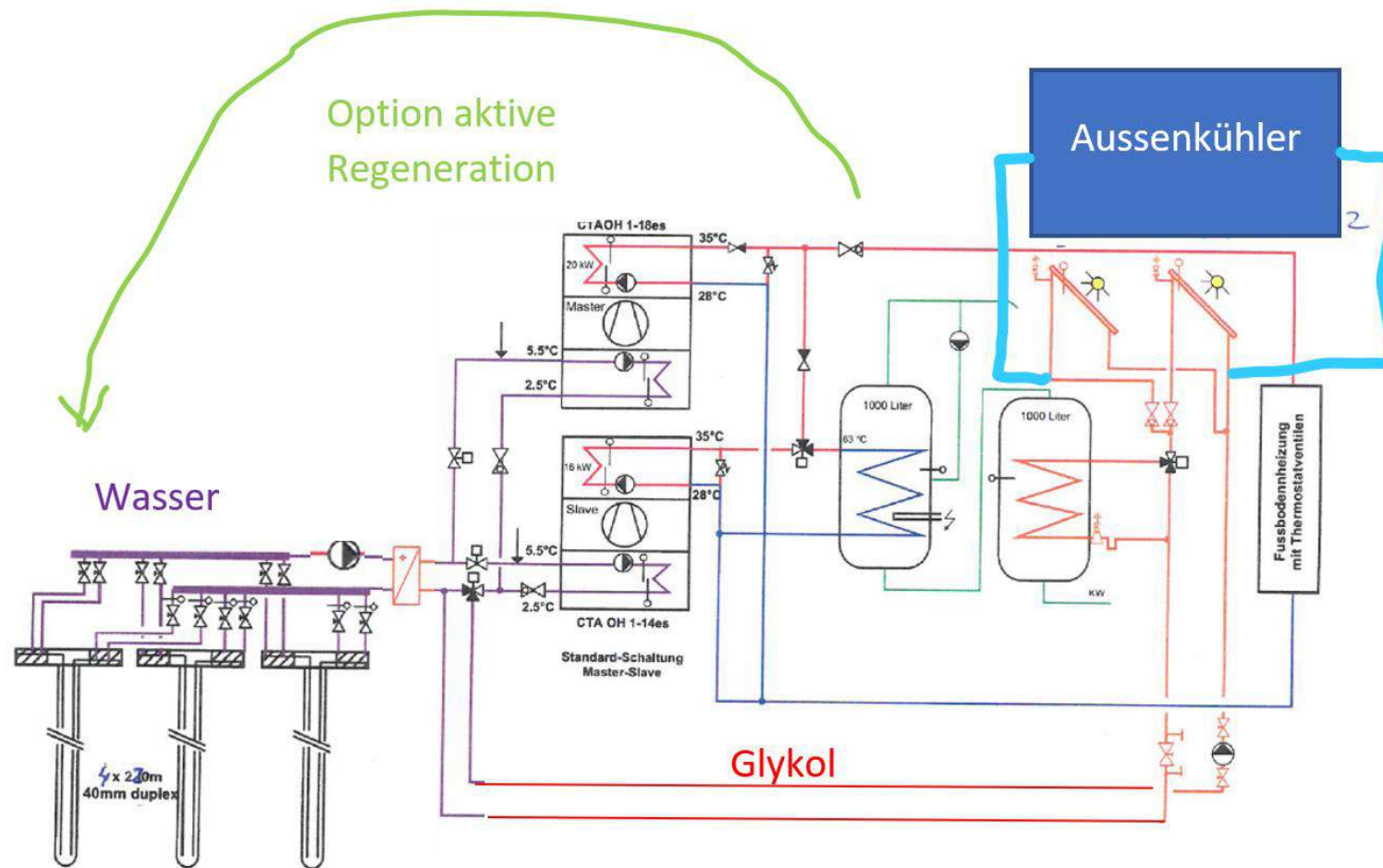


Gesamtoptimierung von Sondenfeldern

- Synergien nutzen zwischen Regeneration, Direktnutzung und Kühlung



Schema Regeneration



Folgerungen für Erdspeicheranwendungen

- Einzelsonden und Kleinanlagen haben wenig Optimierungs-Potential durch Regeneration
 - Free-Cooling eher möglich und auch erwünscht
 - solare Direktnutzung zur Sondenentlastung kann objektspezifisch zielführend sein
- In grösseren Anlagen sind regenerierte Sondenfelder mit Minimalabstand wirtschaftlich am interessantesten (Sanierung und Neubau) somit wird eine aktive Kühlung benötigt
- Aktive Regeneration (Raumentwärmung, Solar oder andere Quellen) bringt in vielen Fällen zusätzliches ökonomisches/ökologisches Optimierungspotential
(Bsp: NH₃-Wärmepumpe mit Aussenluft als Quelle und Kondensation in Erdreich: COP:>10, und Betrieb mit günstigem Solarstrom möglich)
- Geografische Situation (Geologie, Standort,...) und Bauablauf berücksichtigen



Zusammenfassung und Diskussion

- «Sanfte Kühlung» wird immer mehr gefragt
- Wenn Kühlung angeboten wird muss diese auch sicher funktionieren – Leistung muss bereit gestellt werden
- Regeneration von Erdsondenfeldern ist «state of the art»: (Kombination von Regeneration und Direktnutzung ist wirtschaftlicher als Erdsonden: geringerer Sondenabstand, weniger Verbindungsleitung, Weniger Bauzeit)
- Zielkonflikt Regeneration und freies Kühlen: Die Gleichzeitigkeit hoher Regeneration und der typischen Kühllast führt zu hohen Sondentemperaturen, welche kein freies Kühlen erlauben.
→ nur mechanische Kälte liefert zuverlässig
- Kritisch sind die Kühlspitzen, nicht die Energiemenge. Auch teilregenerierte Sondenfelder sind betroffen
- Eine Auslegung der Erdsonden auf 100% Free Cooling ist nicht wirtschaftlich und auch ökologisch fragwürdig (ausser Kleinanlagen)
- Eine Optimierung der Sondenanlage und der Regeneration auf den Heizfall ist i.d.R. sinnvoll. Der Heizfall dominiert typischerweise (hoher Anteil Wohnen) den Stromverbrauch und die Betriebskosten
- Kühlung im Neubau mit wenig Mehraufwand machbar, im Bestand aufwändiger – aber möglich (Konvektoren mit EC-Ventilatoren)
- Stromverbrauch für aktives Kühlen kann weitgehend selbst gedeckt werden und erhöht den Eigenverbrauch von PV-Anlagen



Wir danken für die Unterstützung

