



# Der Beitrag oberflächennaher Geothermie zur emissionsfreien Energieversorgung in Industrie und Gewerbe am Beispiel des Forschungsprojektes geo\_base

Prof. Dr.-Ing. Lars Kühl

Geotherm Offenburg  
expo & congress  
29.02.2024

Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften  
Fakultät Versorgungstechnik  
Salzdahlumer Str. 46 - 48  
D – 38 302 Wolfenbüttel

## Projektübersicht

### Forschungsprojekt geo\_base:

Energetische und ökologische Optimierung von Betriebs- und Regelstrategien für komplexe Energieversorgungssysteme auf Basis oberflächennaher Geothermie im Gewerbe- und Nichtwohnbau

**Projektlaufzeit:** Mai 2018 - April 2022 (verlängert bis April 2023)

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

### Koordinator:

Institut für energieoptimierte Systeme (EOS) der Ostfalia Hochschule für angewandte Systeme, Wolfenbüttel



### Partner:

E.ON Energy Research Center, Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC) der RWTH Aachen



UBeG GbR, Wetzlar



## Ziele im Projekt

### Überwachung, Bewertung, Simulation und Optimierung der geothermischen Energienutzung für die Beheizung und Kühlung von Produktionsgebäuden und -prozessen

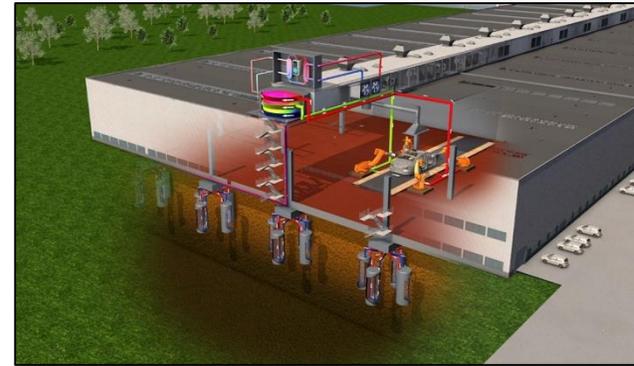
- Bewertung und Optimierung von Betriebs- und Regelstrategien für die Beheizung und Kühlung von Industriegebäuden und Produktionsprozessen auf Basis von Geothermie
- Bewertung der Regeneration des Erdreichs auf der Grundlage einer Bilanzierung der Wärme- und Kälteversorgung
- Ermittlung geeigneter Temperaturniveaus für den Betrieb der einzelnen Systemkomponenten, um die Effizienz des Gesamtsystems zu optimieren
- Bewertung der Eignung verschiedener Speichertechnologien in komplexen Energiesystemen und deren Übertragbarkeit auf andere Standorte
- Untersuchung der Übertragbarkeit der Ergebnisse und Regelungsstrategien auf andere Gebäudetypen und Branchen mit ähnlichem Bedarf



## Untersuchte Standorte

**Volkswagen AG,  
Emden**

**Geothermische Energienutzung  
mittels Energiepfählen für die  
Wärme- und Kälteversorgung**



**Oeding print GmbH,  
Braunschweig**

**Wasserspeichersysteme für  
Wärme und Kälte als  
Referenz**



## VW AG Standort Emden, Halle 18

Produktionsgebäude der Volkswagen AG in Emden

- Produktionshalle zur Herstellung von Karosserieteilen in der PKW-Fertigung mit anteiligen Bürobereichen
- Thermische aktivierte Pfahlgründung des Hallenbaus mit 64.000 m<sup>2</sup> Grundfläche
- Integration der Energiepfähle in die Wärme- und Kälteversorgung der Halle und der Produktion



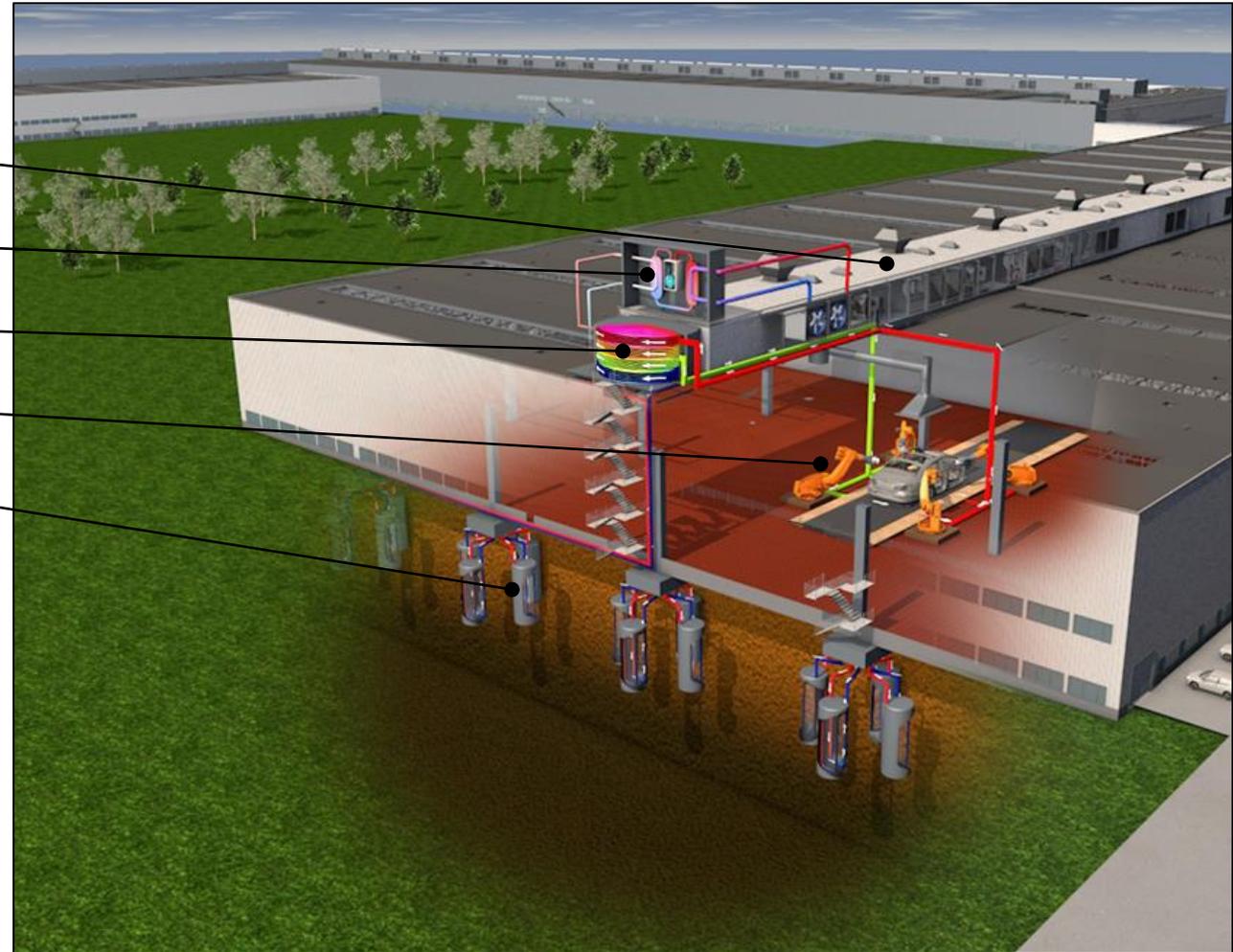
Lüftungsanlagen

Wärmepumpe

Speicher

Schweißroboter

Energiepfähle



## VW AG Standort Emden, Halle 18

- Produktionshalle mit 64.000 m<sup>2</sup> Grundfläche (ca. 530 x 120 m)
- Pfahlgründung mit ca. 5.000 Pfählen (Durchmesser: 40 cm) mit einer Tiefe von 17,5 m
- 3.300 Pfähle sind als Energiepfähle integriert
- Die von den Schweißrobotern erzeugte Wärme wird im Untergrund gespeichert und kann über 4 Wärmepumpen (je 1,43 MW, 45/33°C) in 4 Hallenteilen zum Heizen genutzt werden
- Zur Beheizung der Halle sind zentrale Lüftungsanlagen mit 45 °C Wasservorlauftemperatur installiert
- Die Energiepfähle enthalten ein Doppel-U-Rohr aus PE 100, 25 x 2,3
- Eine weitere Komponente ist ein geschichteter Wasserspeicher (Zortström-Verteiler), der unterschiedliche Temperaturniveaus in verschiedenen Höhen bietet

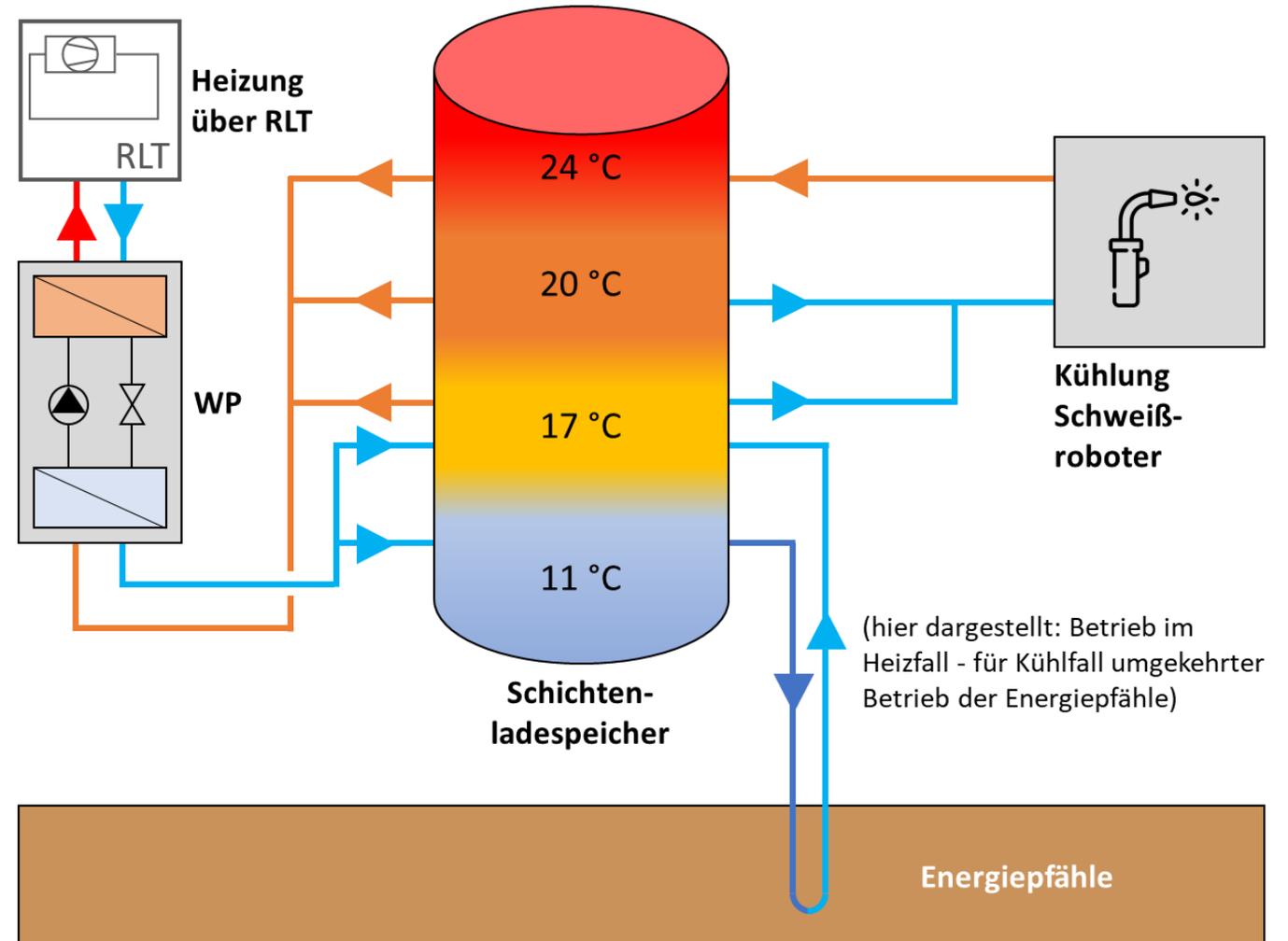


## VW AG Emden – Energieversorgungsschema

- geschichteter Wasserspeicher (Zortström-Verteiler) als hydraulische Weiche
- Wärmepumpe hebt Temperatur auf 45 °C Vorlauftemperatur für die RLT-Anlagen an
- Schweißroboter werden mit ca. 20 °C Vorlauftemperatur gekühlt, Abwärme wird in Speicher eingespeist
- Die Energiepfähle im Erdreich dienen je nach Bedarf als Wärmequelle oder -Senke



Am Standort in der Halle 18 im VW Werk Emden umgesetzter „flinker Speicher“

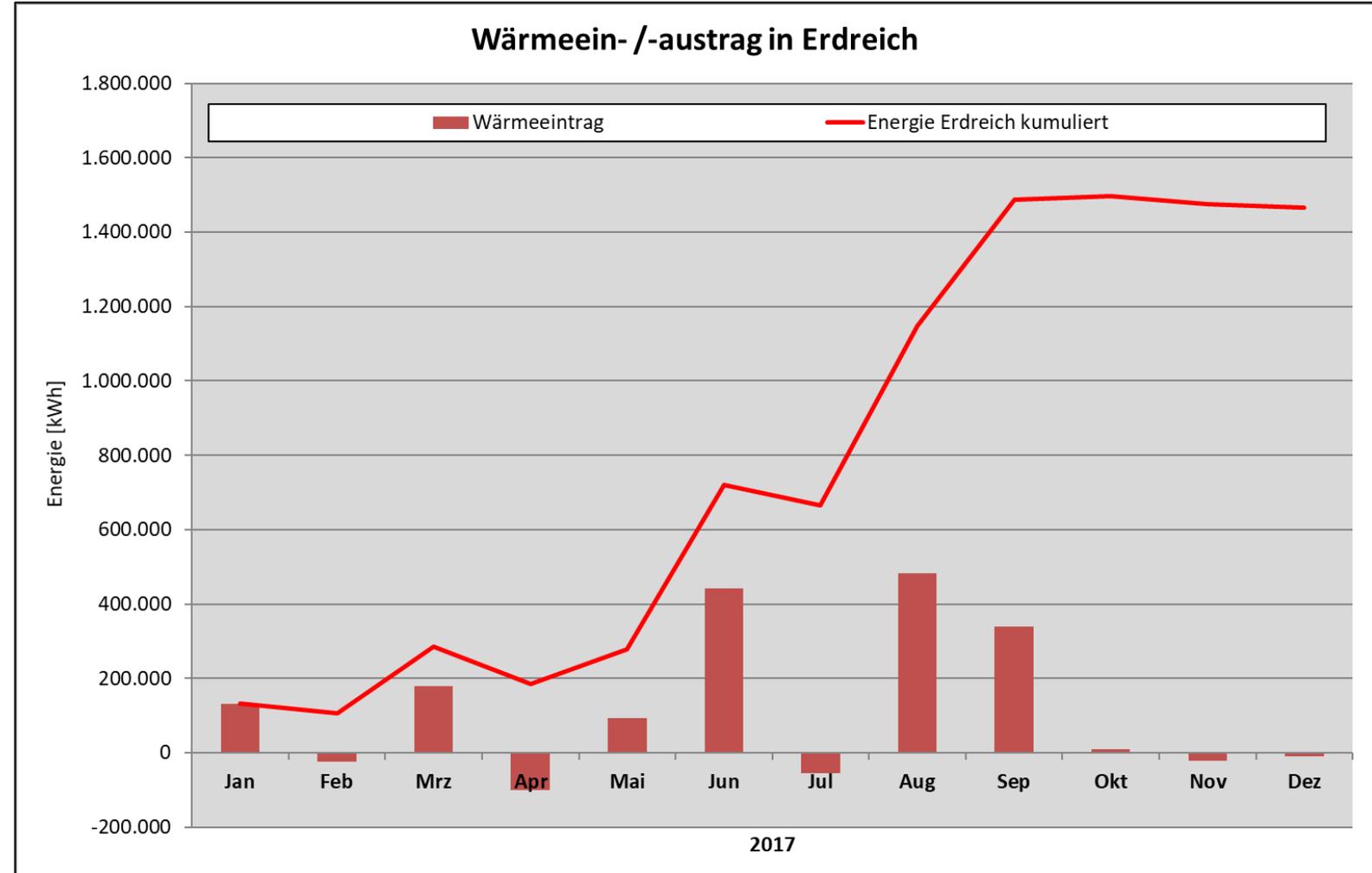




## VW AG Emden – Monitoring Energieverbräuche – Bilanz Erdreich

- im Sommer werden die größten Wärmemengen in das Erdreich eingespeist
- in den Wintermonaten wird jedoch nicht die gleiche Wärmemenge entnommen
- sogar in einigen Wintermonaten erfolgt Einspeisung
- rote Linie zeigt die sich daraus ergebende Summe der Energie, die im Erdreich gespeichert ist
- bei ausgeglichenem Betrieb wäre ein annähernd sinus-förmiger Verlauf der kumulierten Energie zu erwarten, der nach einem Jahr etwa den gleichen Wert anzeigt
- im gesamten Jahresverlauf wurden ca. 1.500 MWh Abwärme aus den Robotern in die Erde eingespeichert

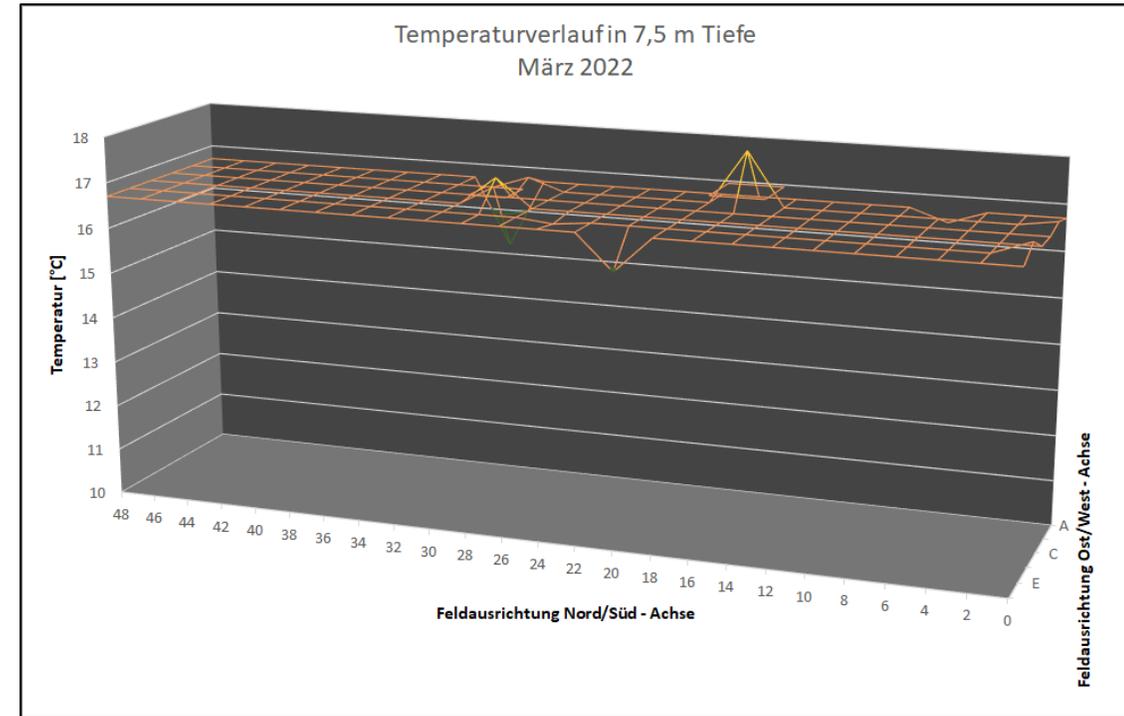
*Verlauf des Wärmeentzugs bzw. der Wärmeeinspeisung ins Erdreich der Halle 18 im VW Werk Emden*



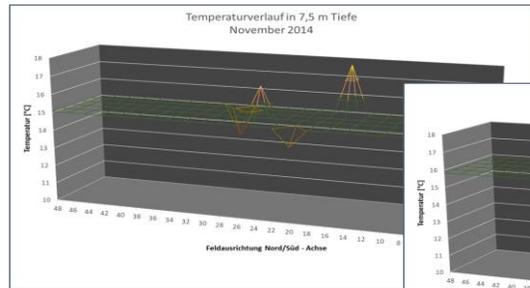
## VW AG Emden – Monitoring Temperaturverlauf im Erdreich

- Dauerhaft größerer Wärmeeintrag als -Entzug führt zu einer Erhöhung der Erdreichtemperatur

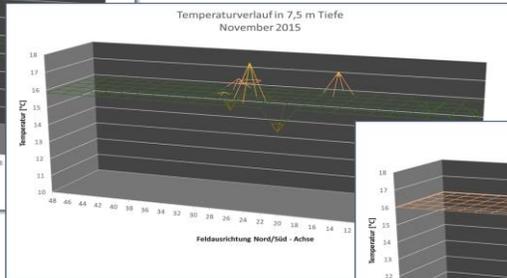
**März 2022**  
Durchschnittl.  
Temperatur: : 16,7 °C



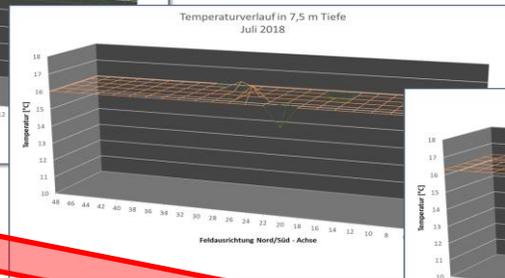
**November 2014**  
Durchschnittl. Temperatur: 15,0 °C



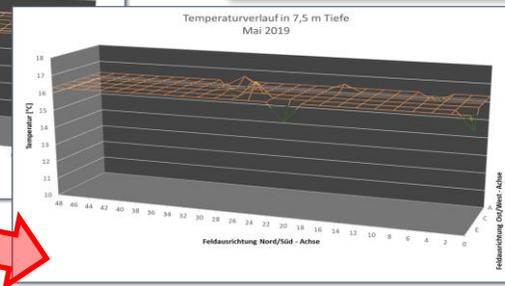
**November 2015**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 15,8 °C



**Juli 2018**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 16,0 °C



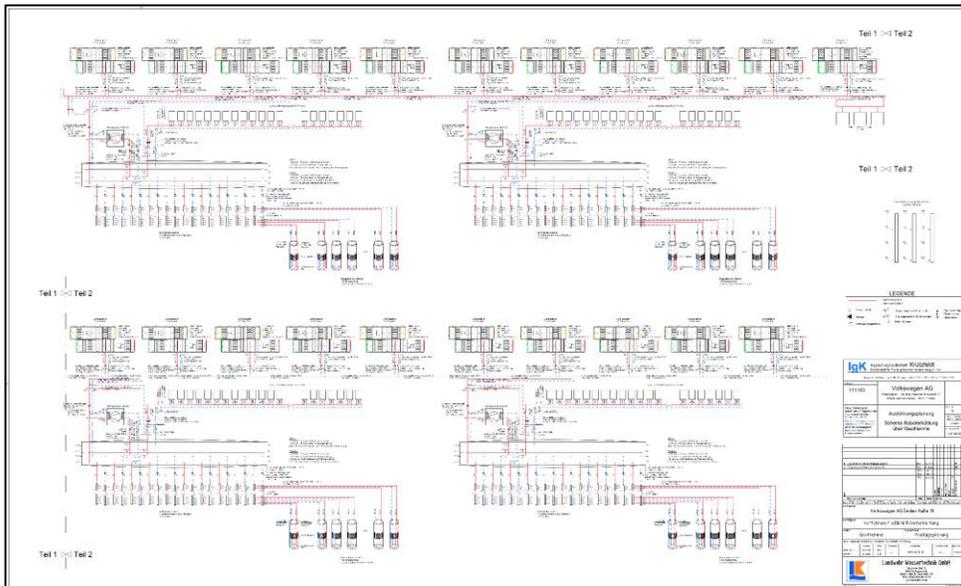
**Mai 2019**  
Durchschnittl.  
Temperatur: 16,3 °C



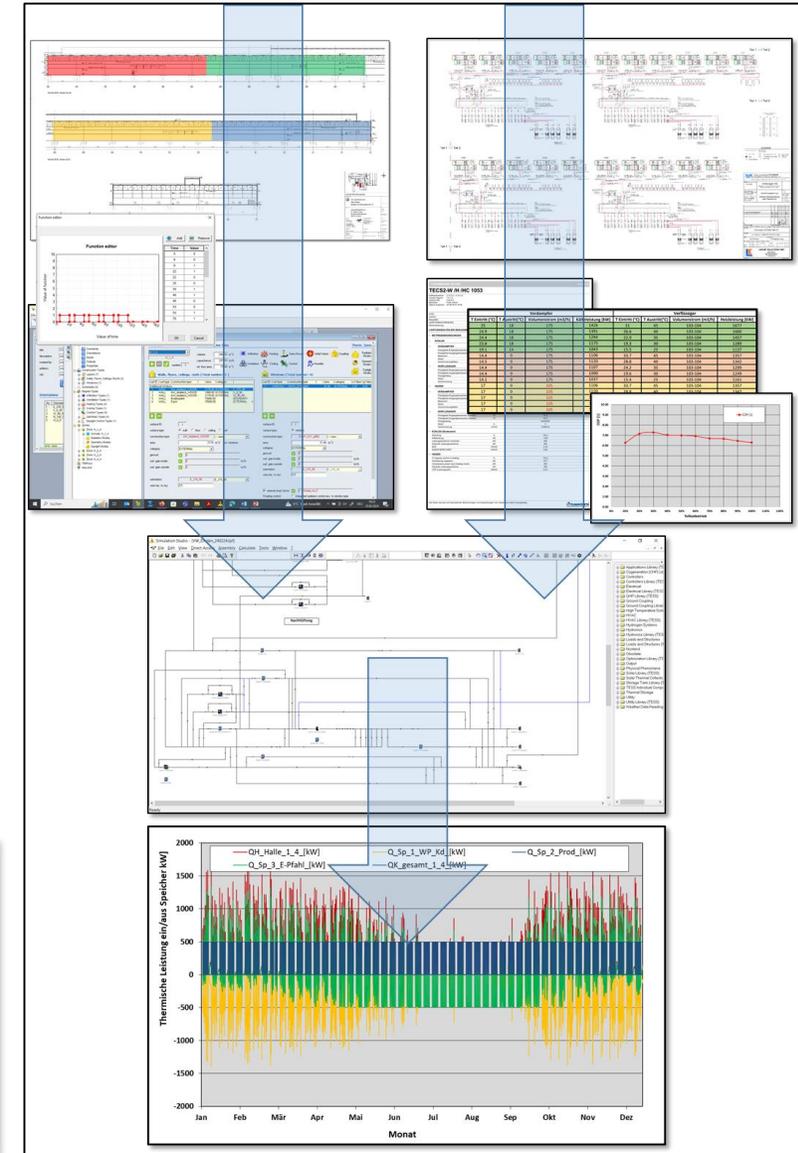
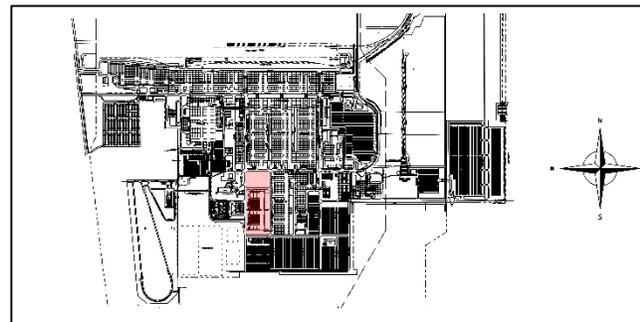
## VW AG Emden - Abbildung des Gebäudes und der Anlagentechnik im Simulationsmodell

- Modellierung nach Planungsunterlagen mit Anpassung an die Ausführung
- Abbildung in 4 Zonen entsprechend der ursprünglichen Zuordnung der Wärmepumpeneinheiten
- Anpassung von internen Lasten und Randbedingungen in der Produktion

### Anlagenschema Heizung/Kühlung für Halle 18 im VW Werk Emden



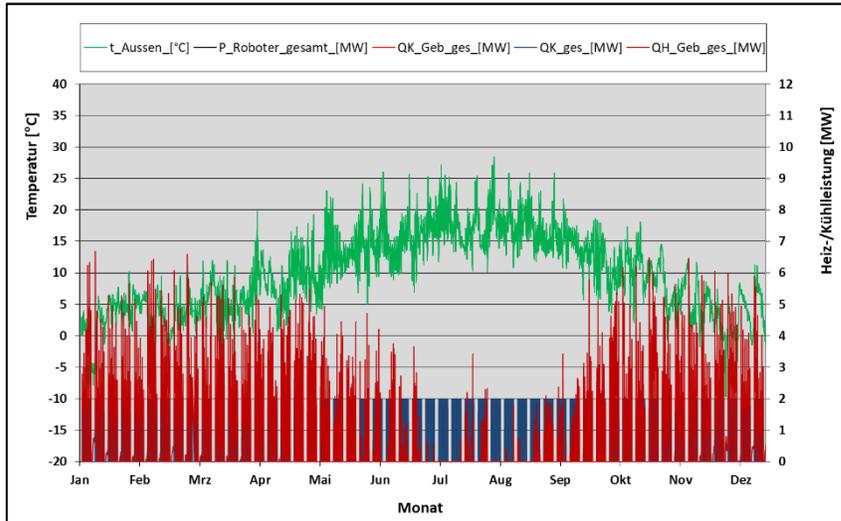
### Lage der Halle 18 im VW Werk Emden



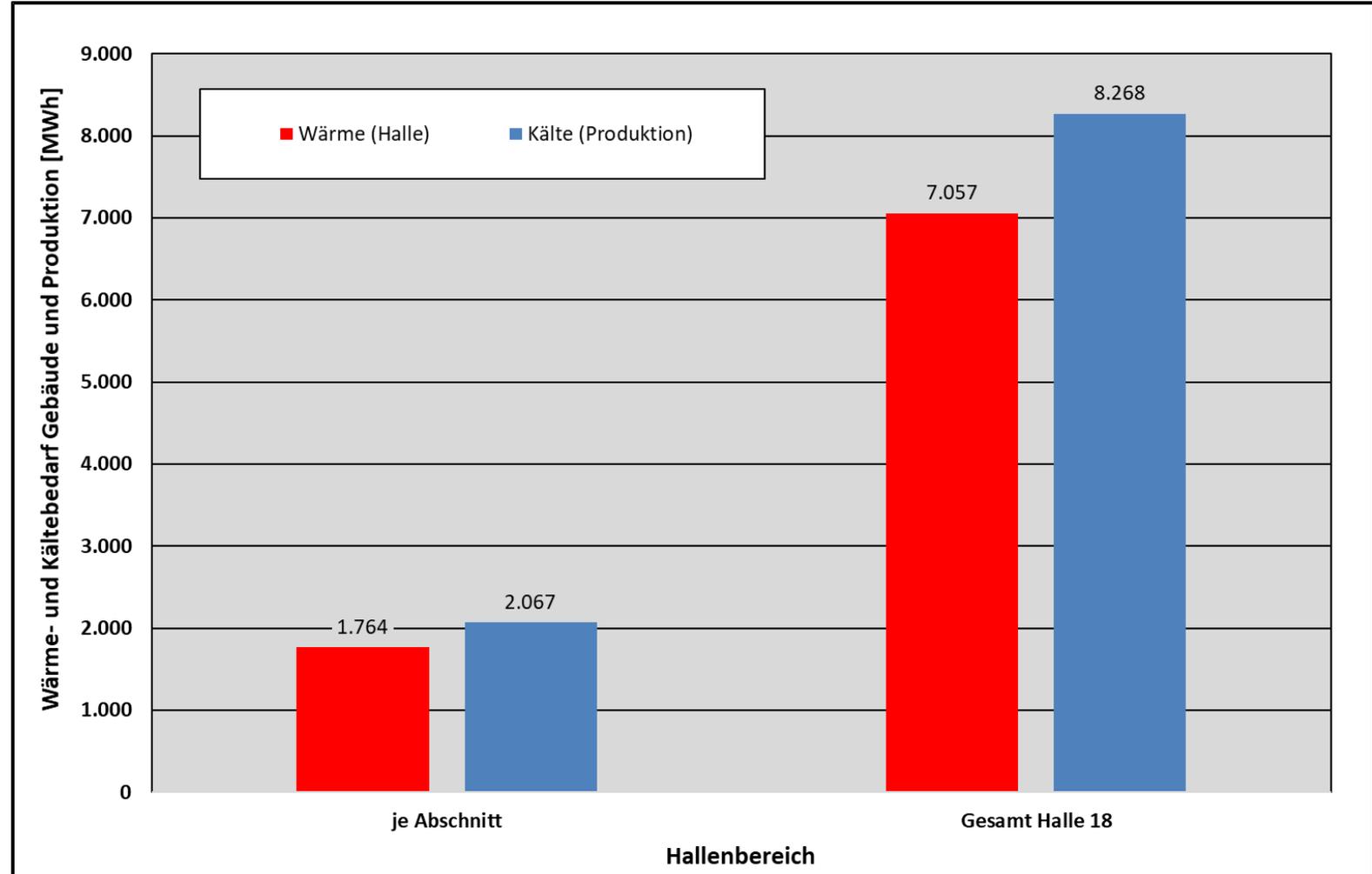
## VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Jahresverlauf des Kälte- und Wärmebedarfs

### Wärmeüberschuss in der Halle 18

Jahreswärme- und -kältebedarf  
für die gesamte Halle 18



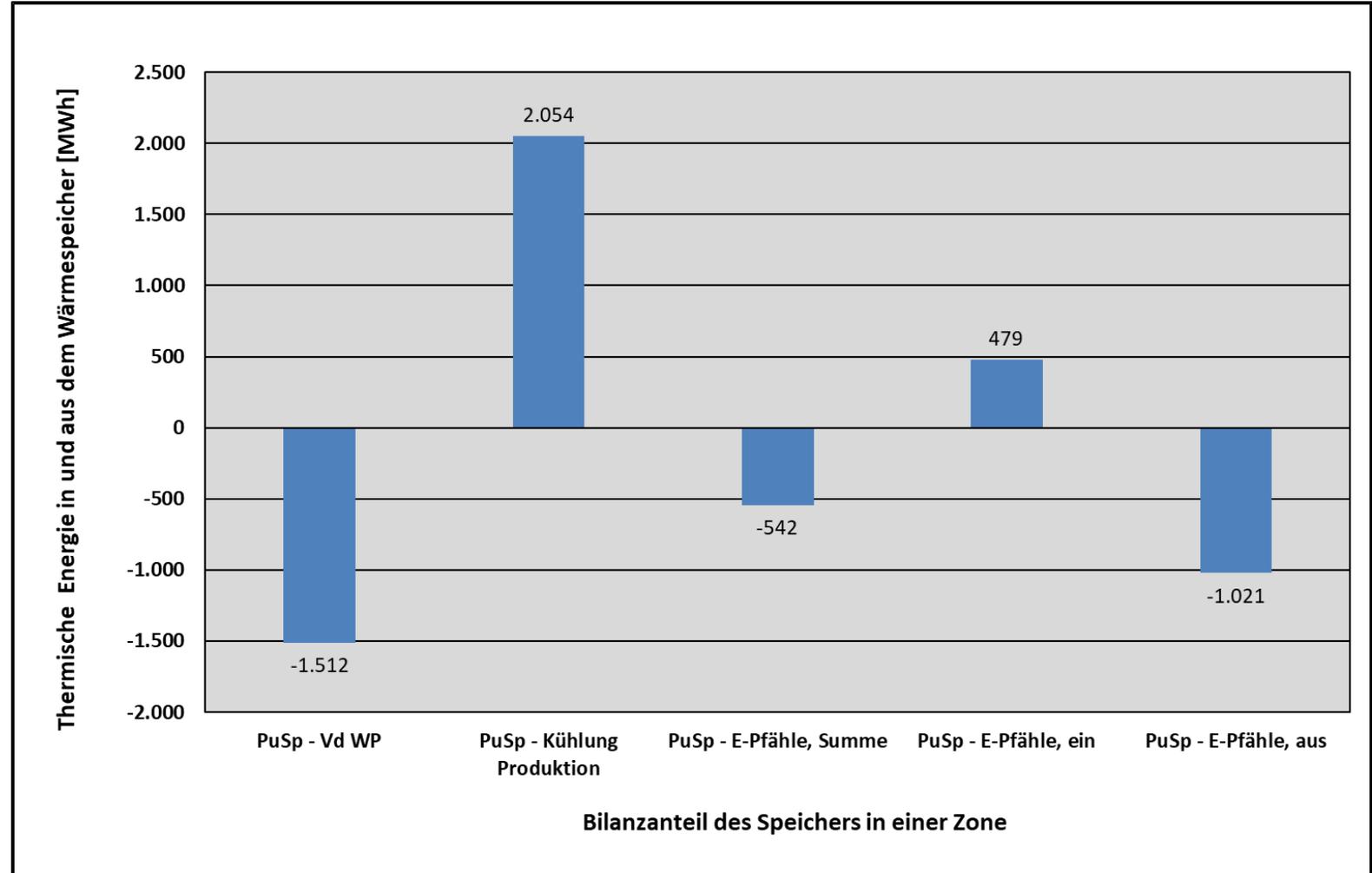
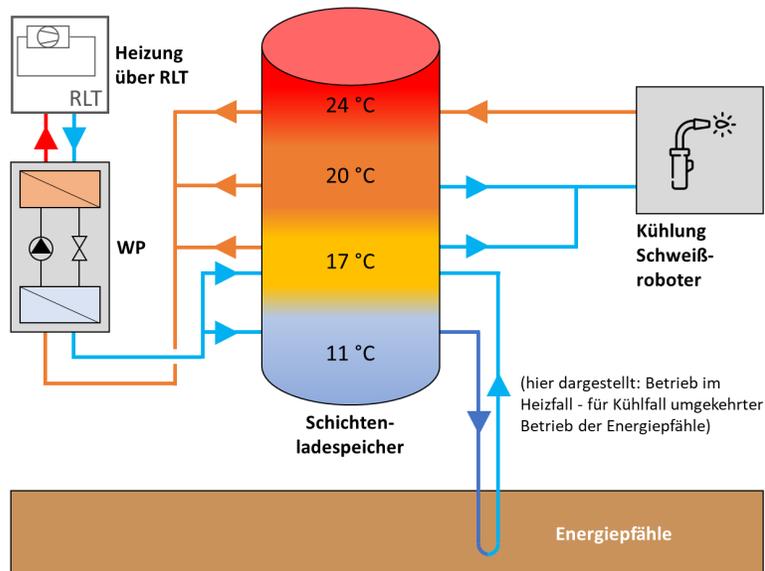
Gesamtbilanz der Wärme- und Kältebedarfs, je Abschnitt sowie für die gesamte Halle 18



## VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Jahresverlauf des Kälte- und Wärmebedarfs

### Wärmeüberschuss in der Halle 18

Mit der sich so bilanziell ergebenden Überwärmung des Erdreichs ergibt sich eine Zunahme der Temperatur im Erdreich, die hier zu einem Wert von  $\Delta\theta_{\text{Erdreich}} = 0,23 \text{ K}$  im Betrachtungszeitraum eines Jahres führt.



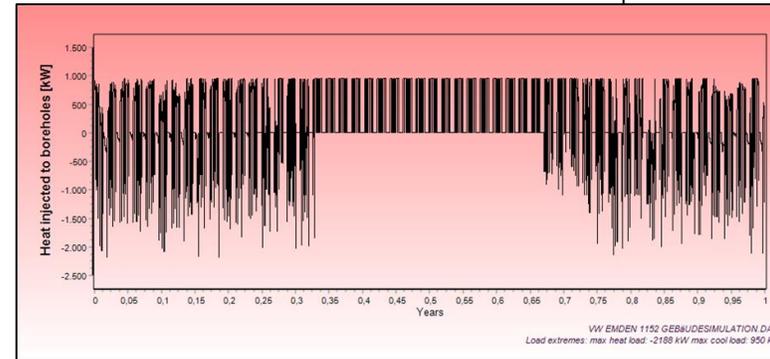
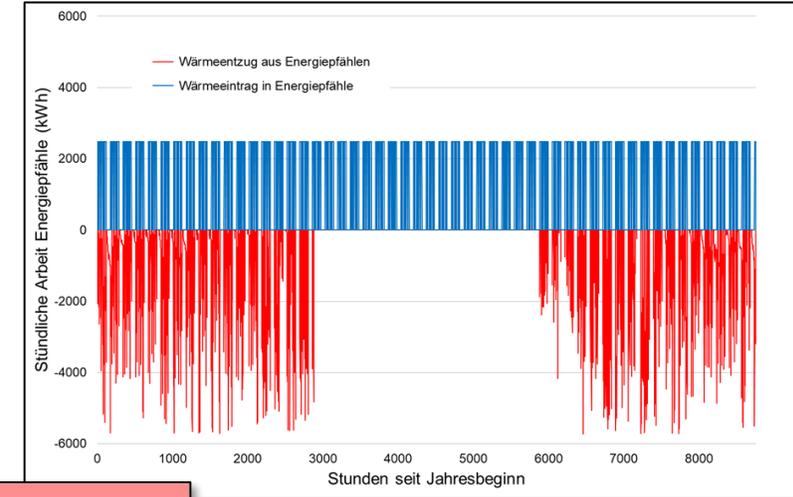


## VW AG Emden – Erdreichsimulation

Simulation des geothermischen Feldes mit angepassten Parametern durch den Projektpartner UBeG Dr. Mands & Sauer GbR

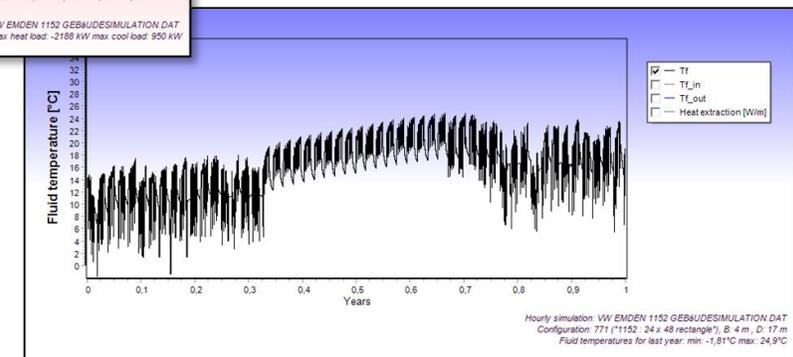
- Die Energiemenge, die im Sommer aus dem Kühlsystem in den Untergrund eingespeist werden soll, soll im Winter zur Deckung der Heizlast wieder entnommen werden
- Berechnung auf Basis der Messwerte von 2017 (1.500 MWh jährlicher Wärmeüberschuss)
- Die Einhaltung der Untergrundtemperaturen zwischen den zulässigen Grenzen von 0 °C und 20 °C soll nachgewiesen werden
- Ausgehend von den Lastdaten aus der Gebäudesimulation wurde ein Szenario gesucht, bei dem die Temperaturen auch langfristig im Bereich von maximal 20 °C bleiben
- Dazu müssen die Kühllasten entsprechend begrenzt werden. Nach einigen Versuchen zeigte sich, dass bei einer Begrenzung des Wärmeeintrags auf maximal 1500 kW ein langfristiger Betrieb möglich wäre

*Lastdaten aus dem Gebäudemodell – erhöhte Wärmeeinspeisung*



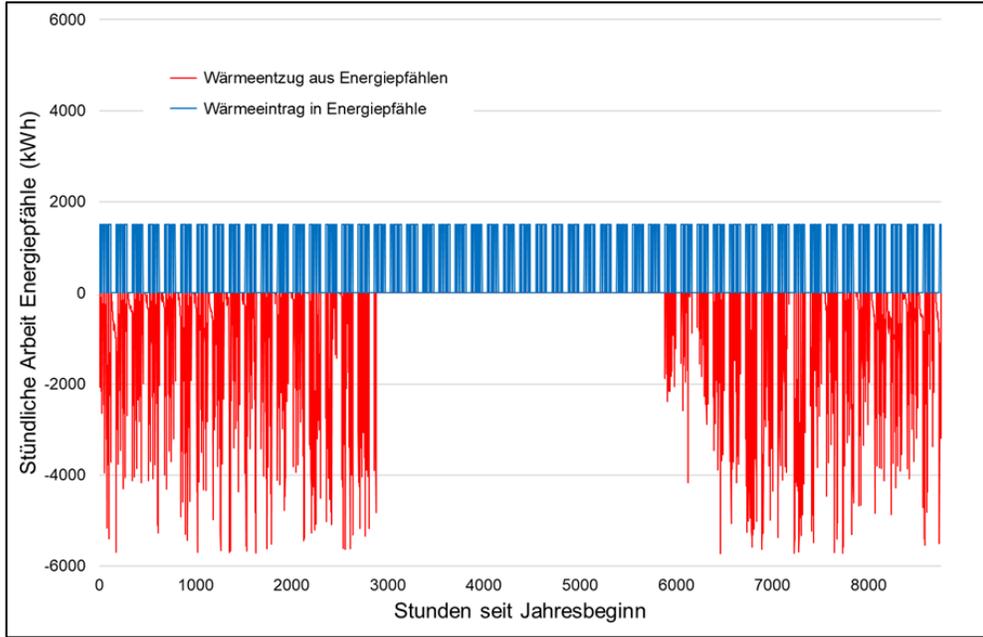
*Umrechnung der Last auf die in EED abgebildete Feldgröße mit 1152 Pfählen in Anordnung 24 x 48*

*Temperaturen im ersten Jahr – Kühlbetrieb 25°C*





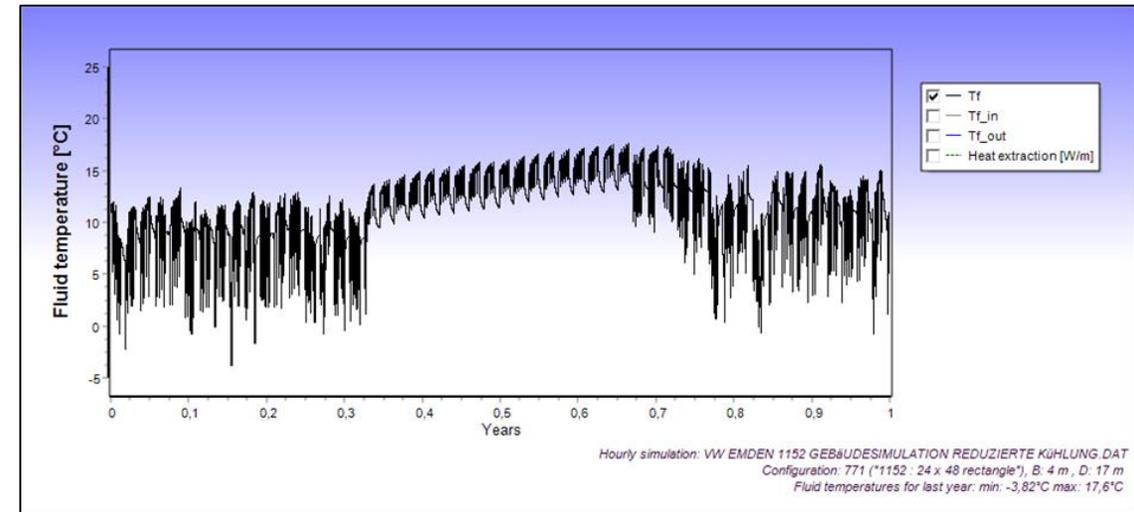
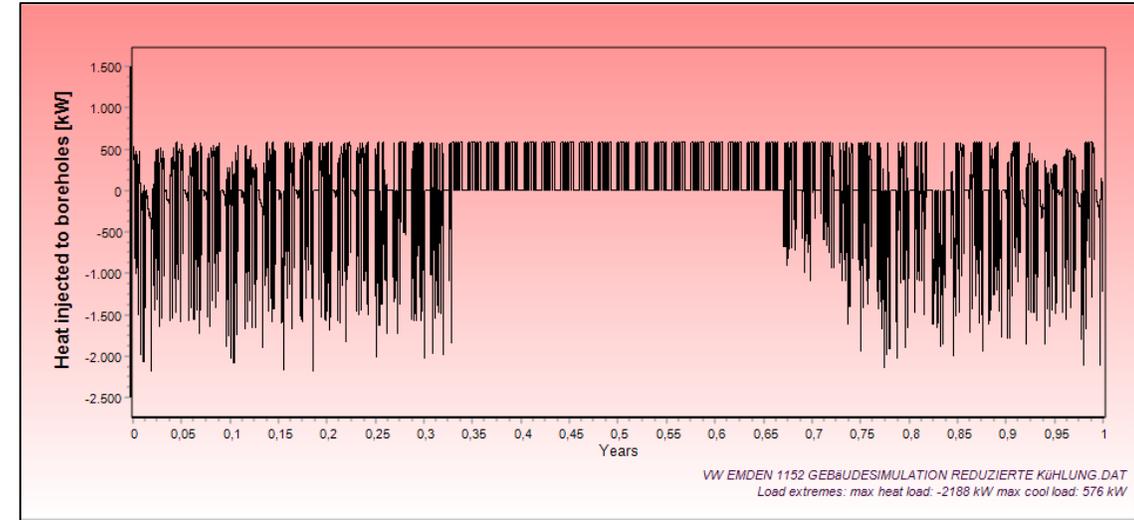
## VW AG Emden – Erdreichsimulation mit reduziertem Wärmeeintrag



*Stündlicher Wärmeeintrag bzw. -eintrag an den Energiepfählen mit reduzierter Kühlleistung, berechnet auf 1152 Pfähle (24x48), Eingabedaten EED*

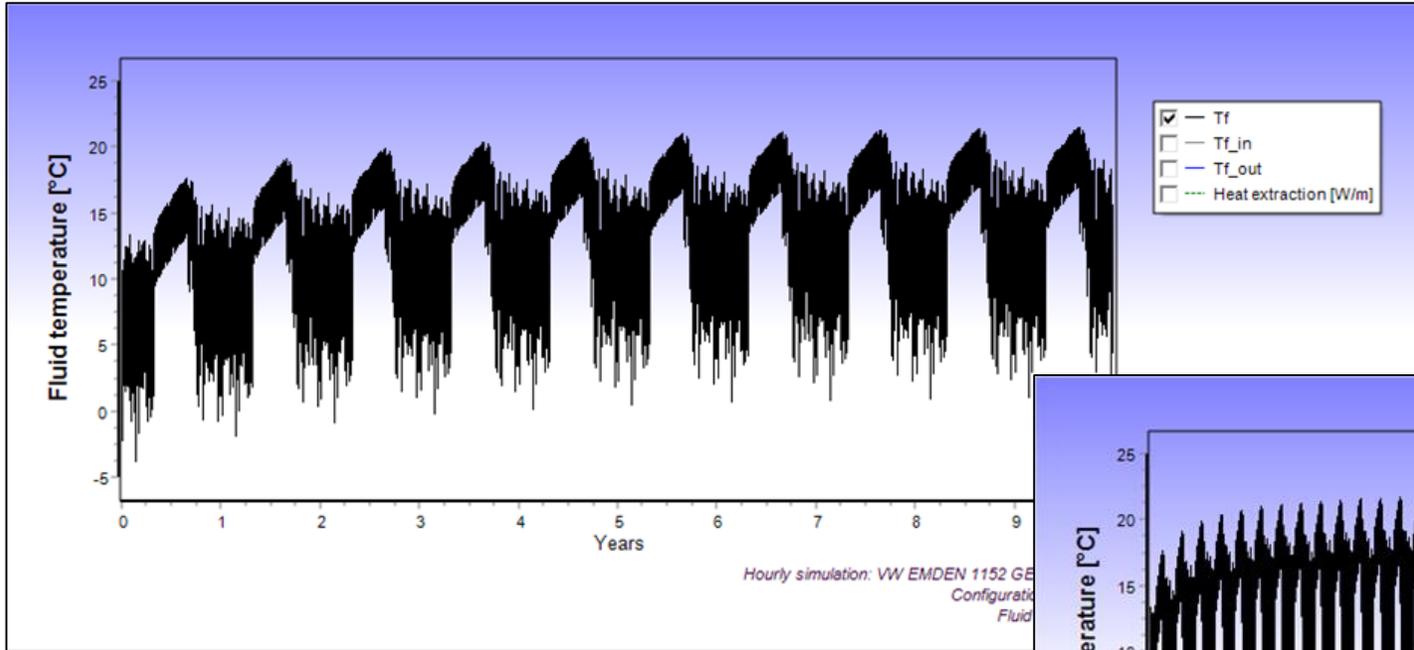
*Stündlicher Wärmeeintrag bzw. -eintrag an den Energiepfählen über ein Jahr, mit Wärmeeintrag auf max. 1500 kW reduziert*

*Temperaturentwicklung mit stündlichen Eingabedaten im ersten Betriebsjahr, reduzierte Kühlleistung – maximale Temperatur im Kühlbetrieb ca. 18°C*

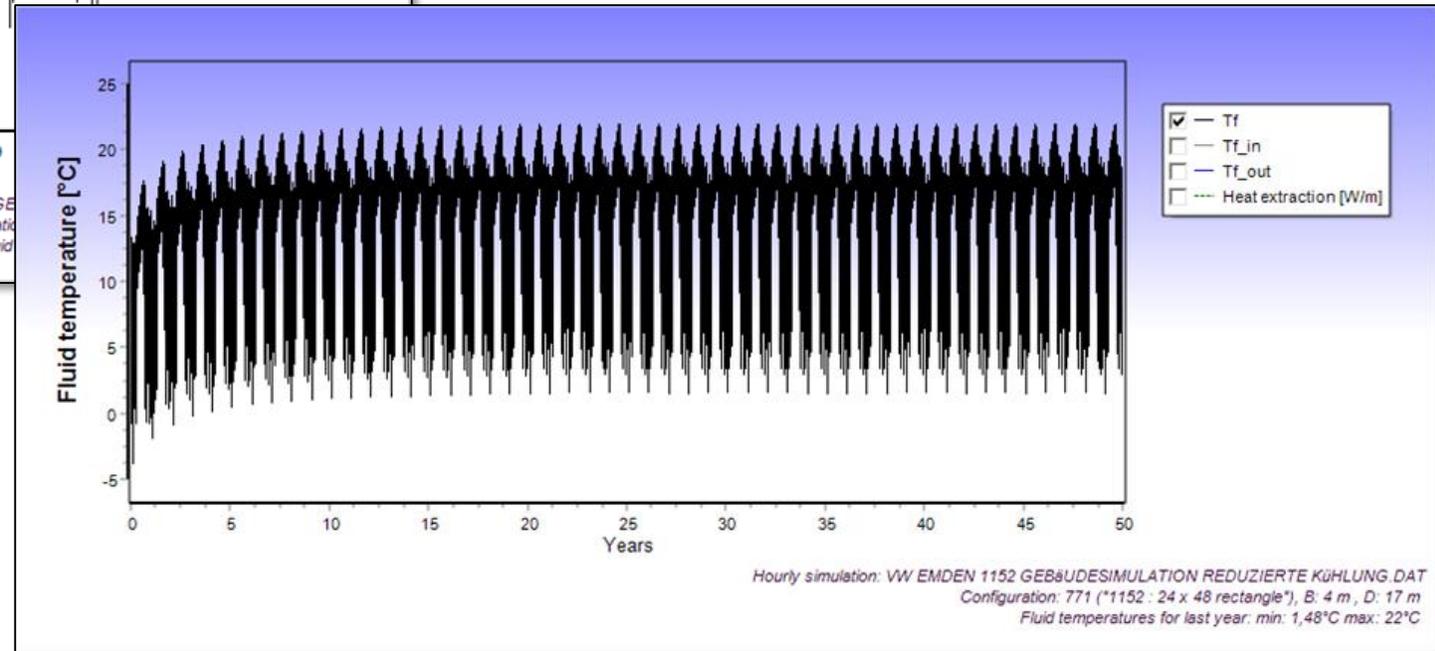




VW AG Emden – Erdreichsimulation mit reduziertem Wärmeeintrag – Ergebnis für 10 und 50 Betriebsjahre



Temperaturentwicklung mit stündlichen Eingabedaten über 10 Betriebsjahre, reduzierte Kühlleistung



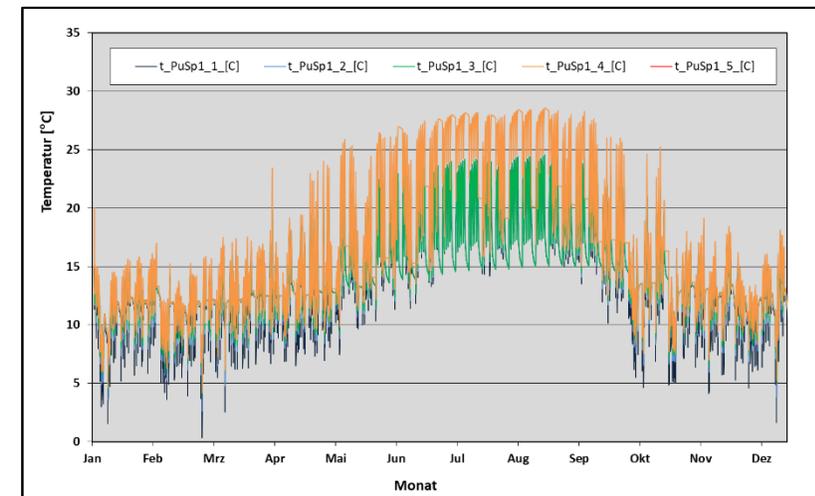
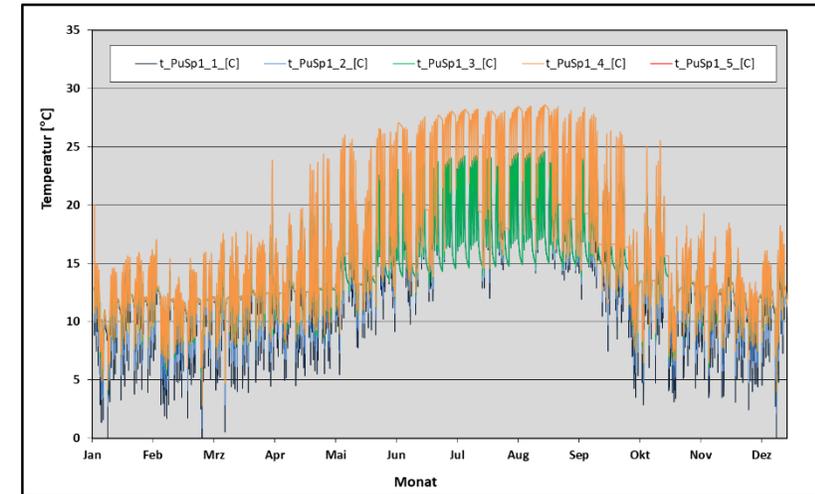
Hourly simulation: VW EMDEN 1152 GEB&UDESIMULATION REDUZIERTE KÜHLUNG.DAT  
Configuration: 771 ("1152 : 24 x 48 rectangle"), B: 4 m, D: 17 m  
Fluid temperatures for last year: min: 1,48°C max: 22°C

Temperaturentwicklung mit stündlichen Eingabedaten über 50 Betriebsjahre, reduzierte Kühlleistung



## VW AG Emden – Simulationsergebnisse – Speichervariationen

- Umgesetztes Volumen/Leistungs-Verhältnis von unter 5 l/kW (1.677 kW WP / 7,5 m<sup>3</sup> Volumen)
- erscheint sehr gering, zeigt sich aber in der Praxis als taugliche Größe in Kombination mit einer funktionierenden Schichtenladeeinrichtung
- Variationen von bis zu 35 l/kW Speichervolumen haben keine signifikante Veränderung von Temperaturverlauf und Speicherbilanz ergeben (*siehe Bilder rechts – oben: 5 l/kW, unten: 35 l/kW*)
- Speicher übernimmt damit im System lediglich die Funktion einer hydraulischen Weiche und einer temperaturgeführten Verteileinrichtung der ein- und austretenden Wärmeströme
- **im Gegensatz zur Erhöhung der Speichergröße hat sich im Betrieb die Notwendigkeit der Integration einer Schnittstelle am Speicher zur Auskopplung überschüssiger Wärme aus der Produktion in das Verteilnetz am Standort ergeben**
- **ermöglicht über Anhebung des Temperaturniveaus über die Wärmepumpe die Nutzbarmachung von überschüssiger Produktionsabwärme für andere Bereichen des Standortes**
- **Anhebung des Temperaturniveaus im Erdreich sowie in der Rückspeisung von Kühlwasser in die Produktion kann wirksam vermieden werden**
- **wesentlicher identifizierter Verbesserungspunkt im Bereich der Wärmeversorgung an diesem Standort und zur Optimierung der Nutzung des trägen Speichersystems**



oeding Braunschweig – Energieversorgungsschema

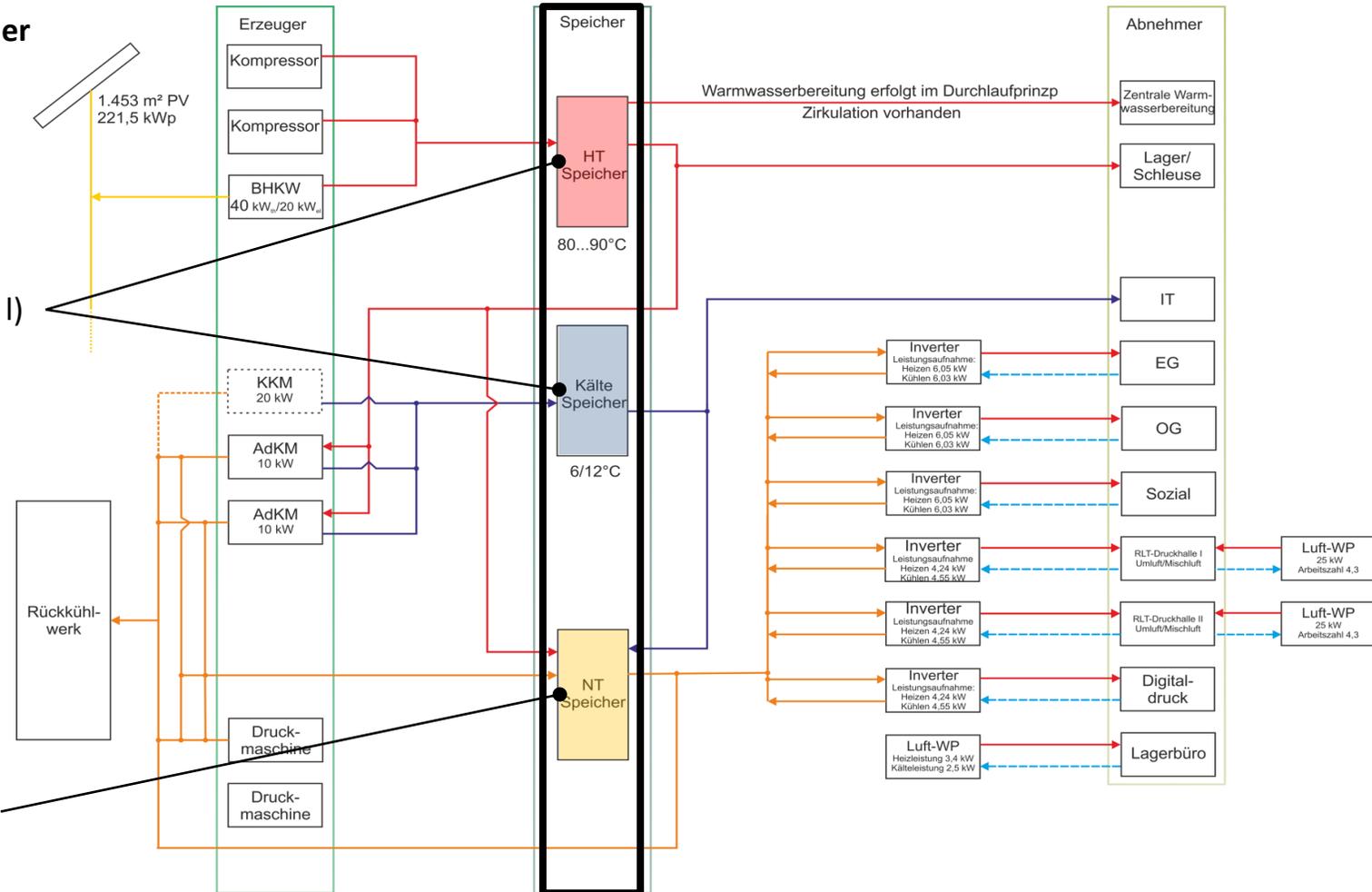
Nieder- und Hochtemperatur-Pufferspeicher sowie Kältespeicher für die Wärme- und Kälteversorgung



Hochtemperatur-  
speicher (2 m<sup>3</sup> + 900 l)  
Kältespeicher (2 m<sup>3</sup>)

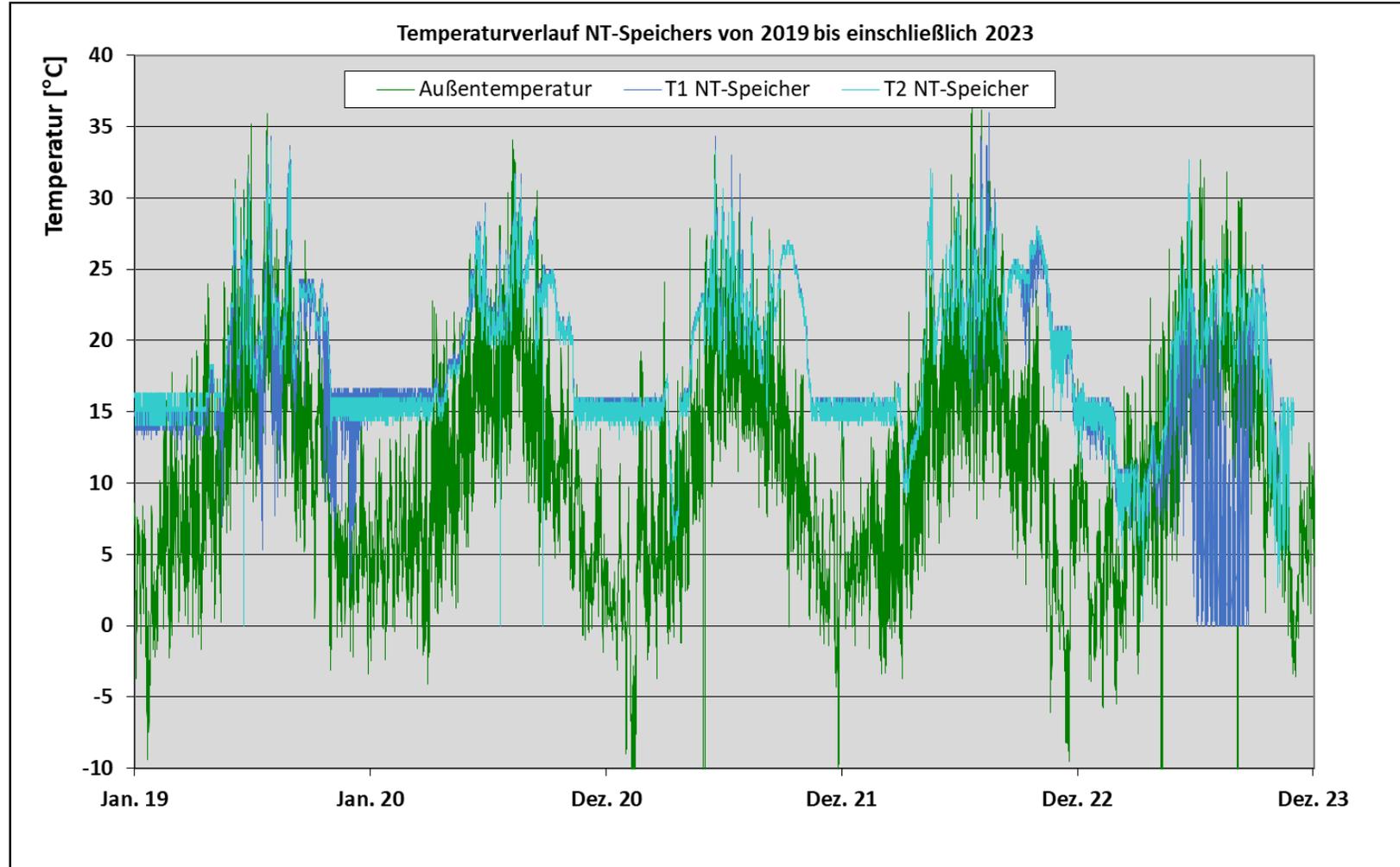


Niedertemperatur-  
speicher (100 m<sup>3</sup>)





oeding Braunschweig – Monitoring – Speichertemperaturen NT-Speicher

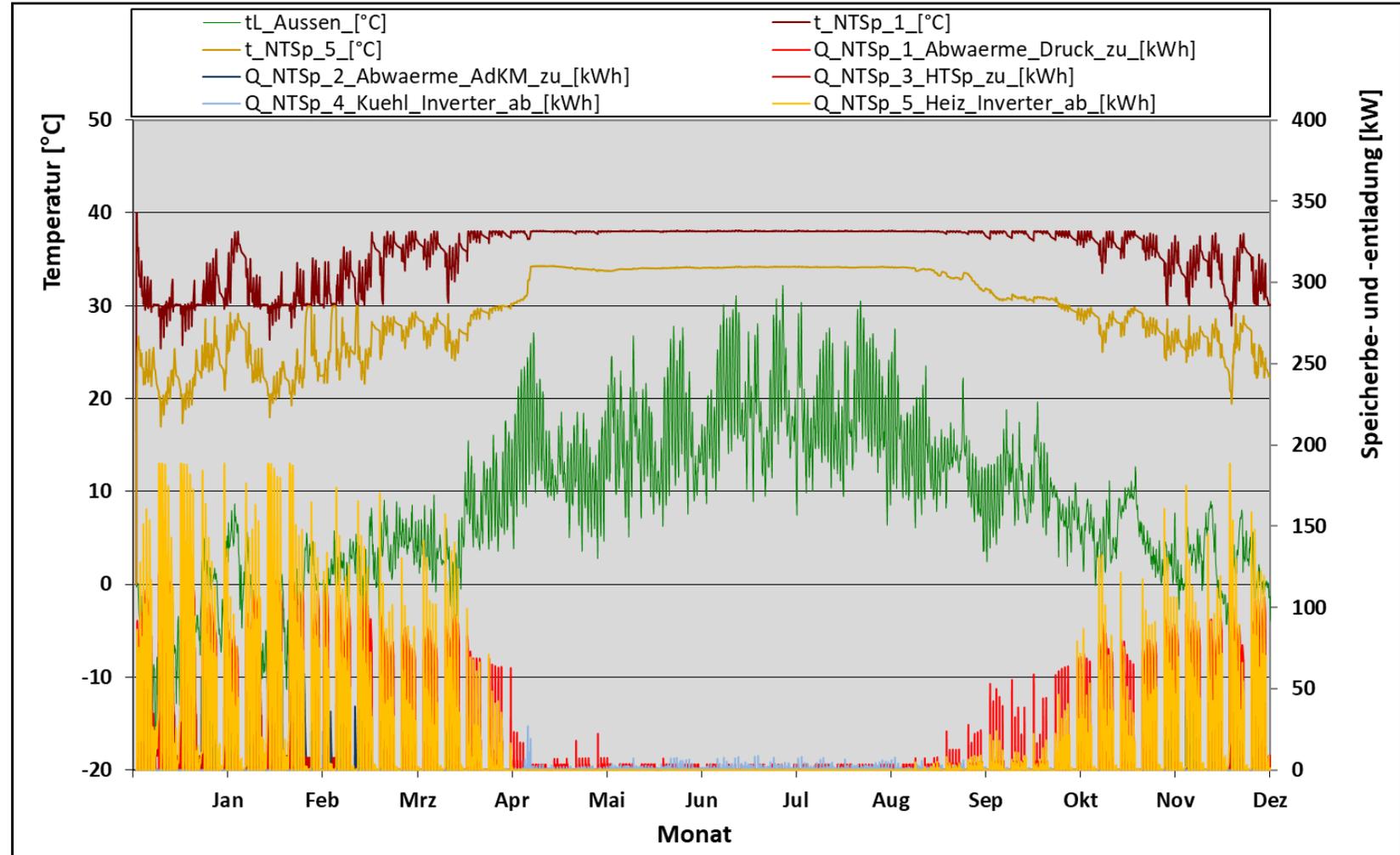




## oeding Braunschweig – Simulationsergebnisse – Speichertemperaturen NT-Speicher

- NT-Speicher ist auf die Einspeisung der HT-Seite angewiesen, um den Betrieb der VRF-Systeme für die Beheizung zu gewährleisten
- NT-Speicher bietet über relativ großes Volumen zwar Potenzial für einen ausgeglichenen Betrieb, das Volumen reicht aber nicht aus, um dies über das ganze Jahr zu gewährleisten
- in Heizperiode übersteigt Heizwärmebedarf das verfügbare Abwärmepotenzial
- relativ großes Volumen (100 m<sup>3</sup>) wurde wegen ungünstiger geometrischer Verhältnisse des liegenden Speichers und der nicht ausgeglichenen Wärmebilanz in Heizperiode gewählt

*Jahresverlauf der Speichertemperaturen oben und unten und der ein- und ausgetragenen thermischen Leistungen im NT-Speicher*



## Quervergleich der Konzeptansätze flinker und träger Speichersysteme

geothermische Anlagen als träge Speichersysteme	herkömmliche Pufferspeicher als flinke Speichersysteme
geringes Temperaturniveau ➤ Option des „direct-cooling“-Betriebs ➤ bei Benötigung von höheren Temperaturniveaus ist die Einbindung von Wärmepumpen notwendig	höheres Temperaturniveau ➤ keine Option des „direct-cooling“-Betriebs ➤ höhere Temperaturniveaus ohne Einbindung von Wärmepumpen direkt nutzbar
großes Volumen benötigt, jedoch „nur“ unterirdisch	oberirdischer Platzbedarf im Gebäude bzw. auf dem Gelände der Liegenschaft
Option der saisonalen thermischen Energiespeicherung/Wärmeverschiebung ➤ Reduzierung der Energiekennwerte	nur kurzzeitige Speicherung
Notwendigkeit der Kombination mit einem „flinken“ Speicher als Bindeglied zwischen den auftretenden Wärmeströmen	eigenständiges Speichersystem
Grundlastfähigkeit bei großen umzusetzenden Wärmemengen	

→ Im direkten Vergleich stellt das träge Speichersystem insbesondere für Gewerbe- oder Produktionsgebäude das geeignetere Speichersystem dar.



## Fazit

- Im Projekt geo\_base wurde die Eignung der geothermischen Energienutzung für die Beheizung und Kühlung von Produktionsgebäuden und -prozessen untersucht.
  - Die Integration von thermischen Speichern in Abwärme oder regenerative Energien nutzende thermische Energieversorgungssysteme für Industrie- und Gewerbeanwendungen ist nach den Ergebnissen aus den begleiteten Projekten innerhalb dieses Vorhabens in jedem Fall sinnvoll.
  - Zielvorgaben für die sinnvolle Planung und Auslegung der Geothermienutzung sind ein langzeitliches stabiles Temperaturprofil im Erdreich, das durch eine bereits während der Planungsphase durchgeführte simulative Bewertung erreicht werden kann, sowie die angepasste ergänzende Einbindung von flinken Speichersystemen, um einen effizienten und funktionsgerechten Betrieb zu ermöglichen.
  - Änderungen an der Anlagentechnik und der Regelungsstrategie im Betrieb und Produktionsänderungen (Lastveränderungen), die nicht auf das Geothermiesystem abgestimmt werden, können zu Betriebsproblemen führen.
  - Über ein betriebsbegleitendes Monitoring können bestehende Probleme identifiziert und Optimierungsstrategien erarbeitet werden.
  - Die Überwachung und Bilanzierung des Systemverhaltens in der frühen Betriebsphase helfen, Probleme, Fehlfunktionen und unausgewogenen Betrieb zu erkennen.
  - Eine begleitende Systemsimulation in der Betriebsphase kann dabei helfen, weitere Optimierungsstrategien zu entwickeln.
- **Ausgewogene geothermische Systeme sind in der Lage, die Grundlast zum Heizen und Kühlen von Produktionsgebäuden und -prozessen zu decken und können dazu beitragen, die Emissionen und den Primärenergieverbrauch zu reduzieren. Somit können geothermische Systeme in Gewerbe und Industrie einen wichtigen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele leisten.**



**Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit**