



*Ein Unternehmen von HAMBURG WASSER*

# Aquifer-Wärmespeicher in Hamburg

Kai-Justin Radmann,  
Dr. Carsten Hansen,

15.09.2021

# KLIMASCHUTZ ALS ZENTRALE HERAUSFORDERUNG

## Klimaschutz ist die zentrale Herausforderung der nächsten Jahrzehnte

Das Klimaschutzgesetz der Bundesregierung definiert den aktuellen Zielerreichungspfad:

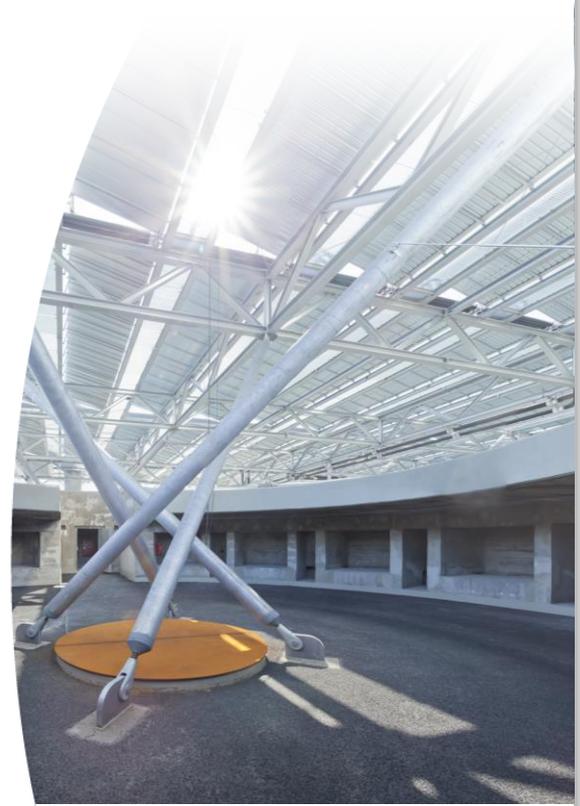
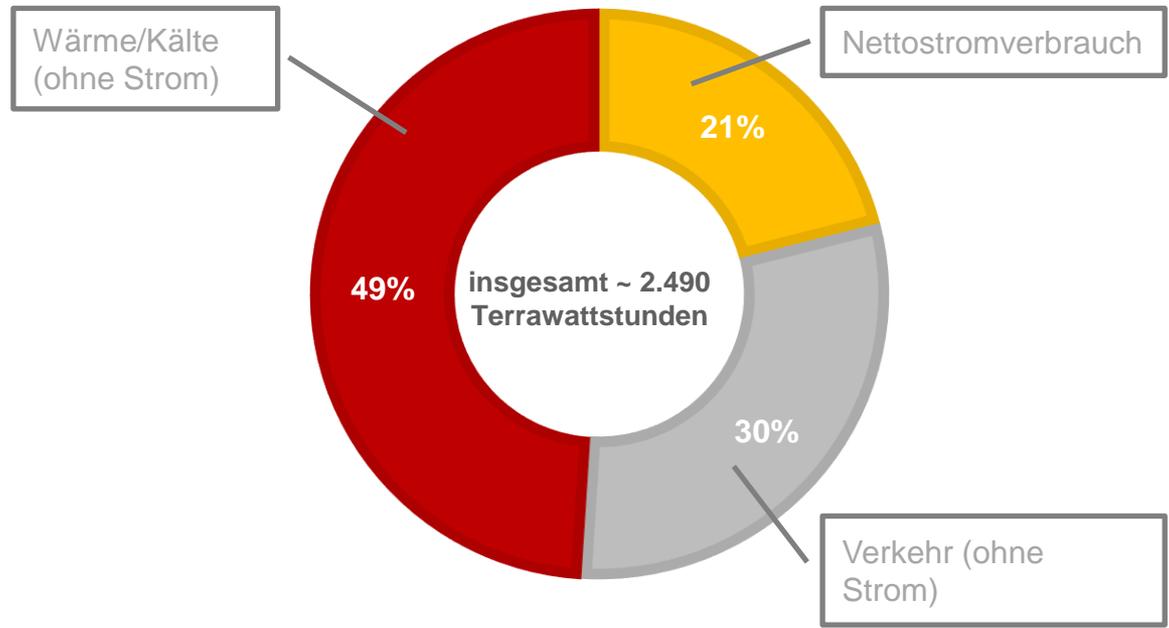
- bis 2030: Einsparung von **mind. 65 %** der Treibhausgasemissionen ggü. 1990
- bis 2040: Einsparung von **mind. 88 %** der Treibhausgasemissionen ggü. 1990
- bis 2045: Erreichung **Klimaneutralität!**

Für die einzelnen Bereiche wie Energiewirtschaft, Industrie, Verkehr oder dem Gebäudebereich werden bis 2030 **verbindliche Emissionshöchstmengen** definiert.

Im Zeitraum von 2031 bis 2040 werden darüber hinaus **jährliche Minderungsziele** für die jeweiligen Sektoren vorgegeben!

# KLIMASCHUTZ ALS ZENTRALE HERAUSFORDERUNG

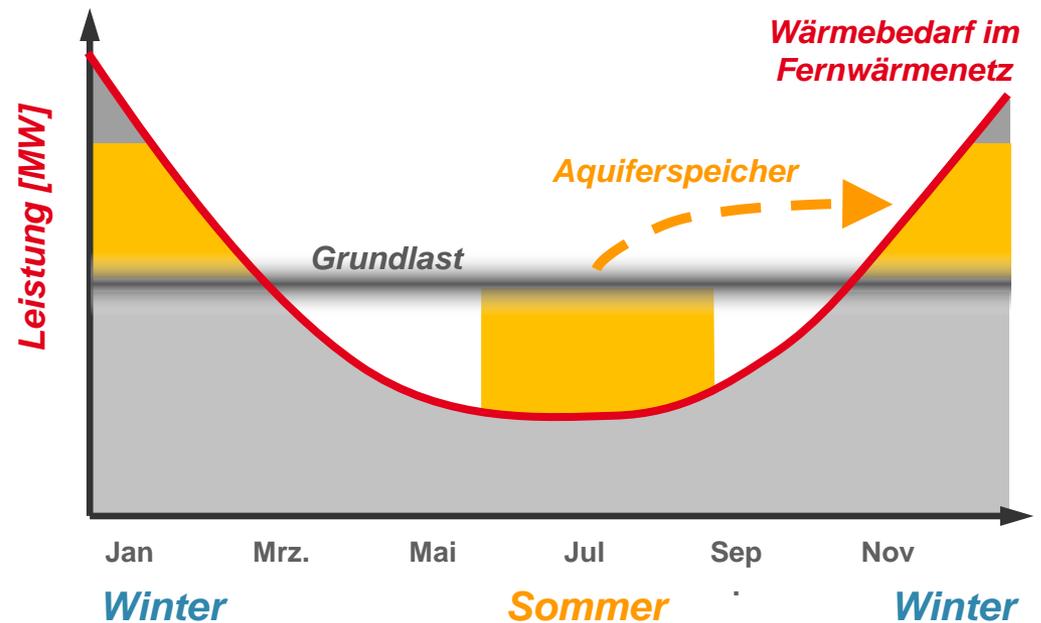
## Endenergieverbrauch in Deutschland 2018



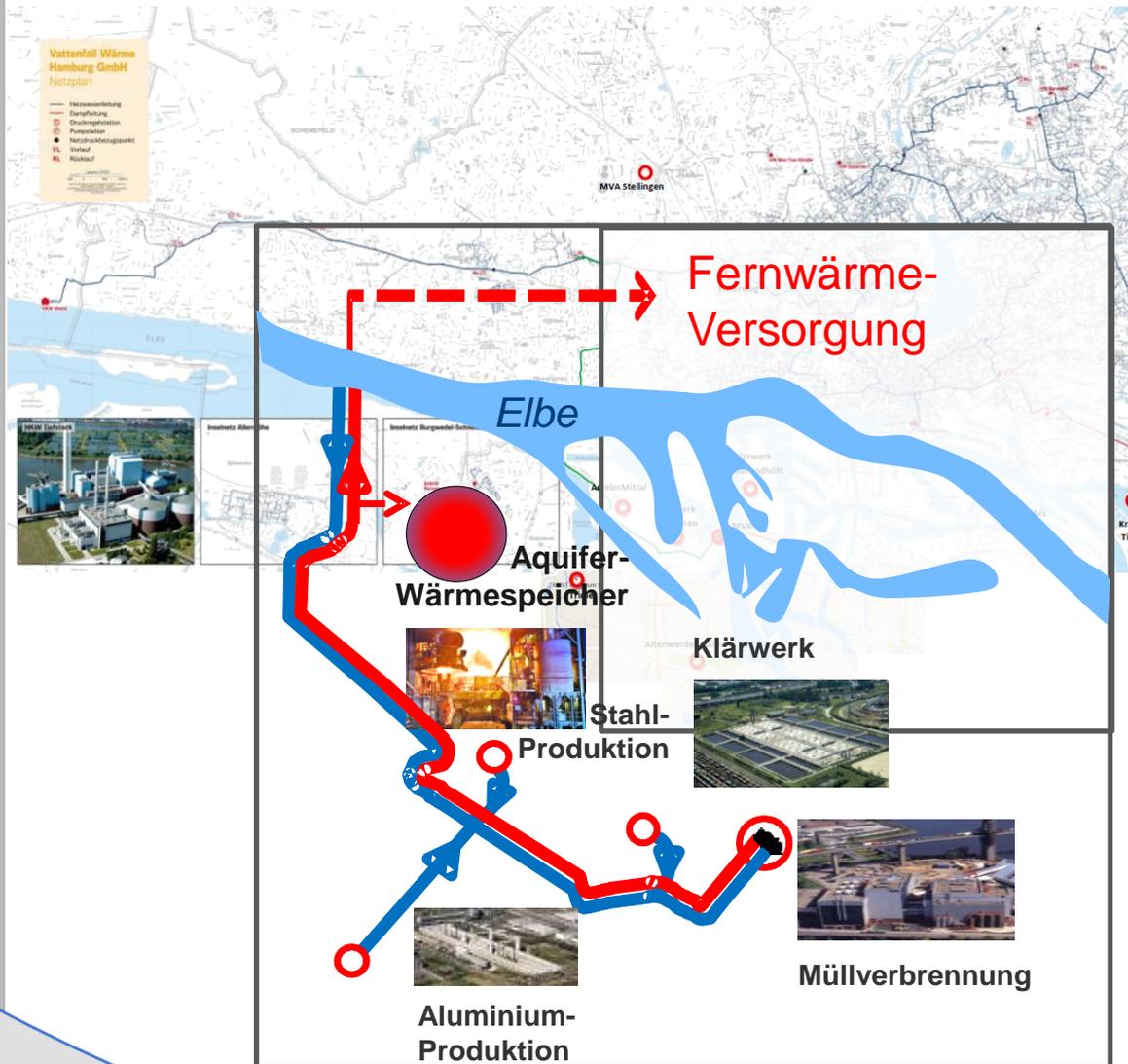
Quelle: BMWi, Energiedaten 2020 | Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e..V.

# AQUIFERSPEICHER – WARUM?

- „Badewannenkurve“  
Saisonaler Gang des Wärmebedarfs des Fernwärmenetzes
- „im Winter zu wenig und im Sommer zu viel“
- Saisonale Speicherung zur Deckung der Spitzenlast im Winter
- Verbleibender Spitzenlastbedarf z.B. durch Gaskessel



# HINTERGRUND, DIE HAMBURGER SITUATION



Der Rückkauf des Fernwärmenetzes wurde durch die Stadt Hamburg umgesetzt

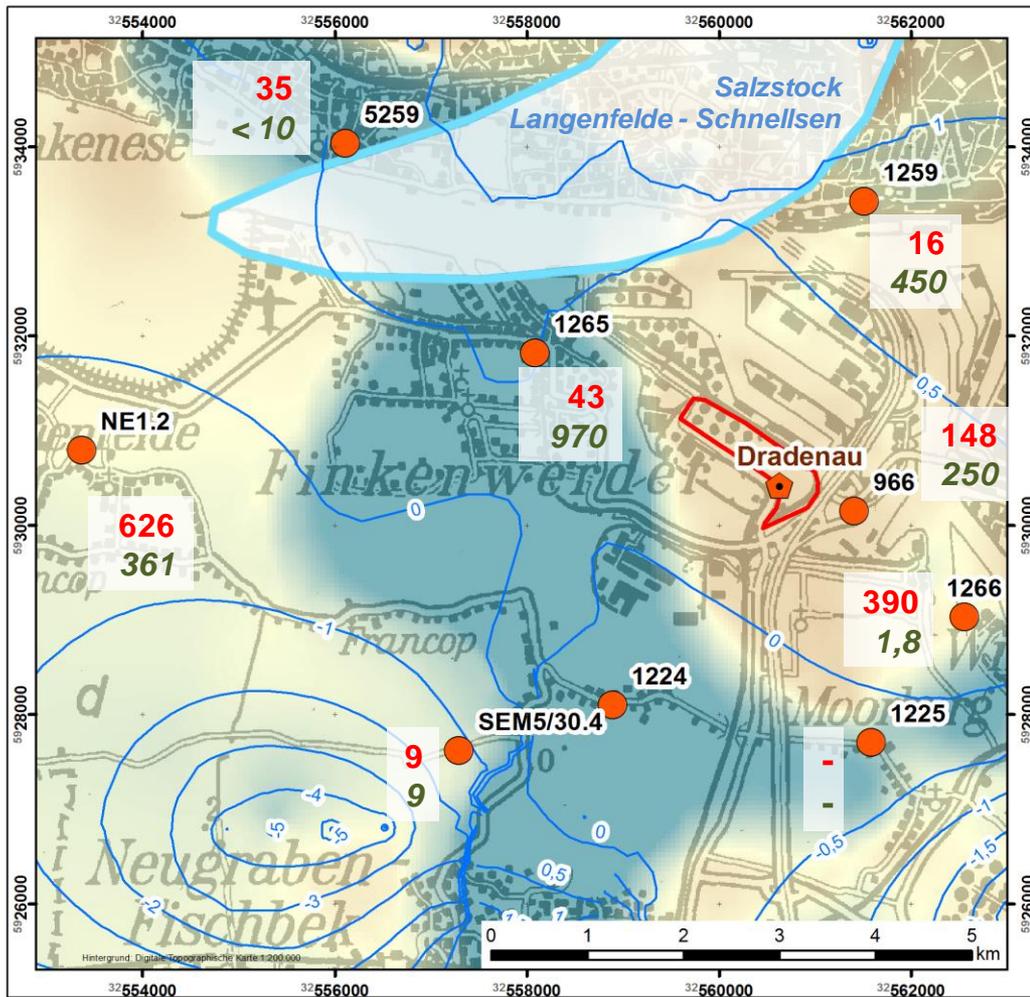
Ein abgängige Heizkraftwerk muss zeitnah ersetzt werden

Klimaschutzziele FHH:  
CO<sub>2</sub> Reduktion um 50 % bis 2030 und um 80 % bis 2050

Klimaschutzziele nur bei Optimierung des Wärmesektors erreichbar!

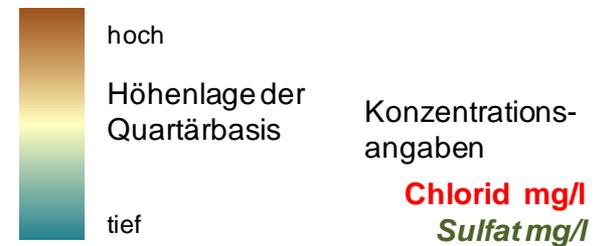
Es wird ein saisonaler Speicher für die dauerhafte Wärmeproduktion benötigt (Aquiferwärmespeicher)?

# REGIONALER ÜBERBLICK



## Grundwasserbeschaffenheit

- OBKS versalzen
- Abstrom Salzstock Langenfelde – Schnellsen
- Erwartete Konzentrationen:  
Sulfat: 250 – 1.000 mg/L  
Chlorid: 50 – 150 mg/l
- **angetroffen:**  
**Sulfat: 400 – 430 mg/l**  
**Chlorid: 50 – 300 mg/l**



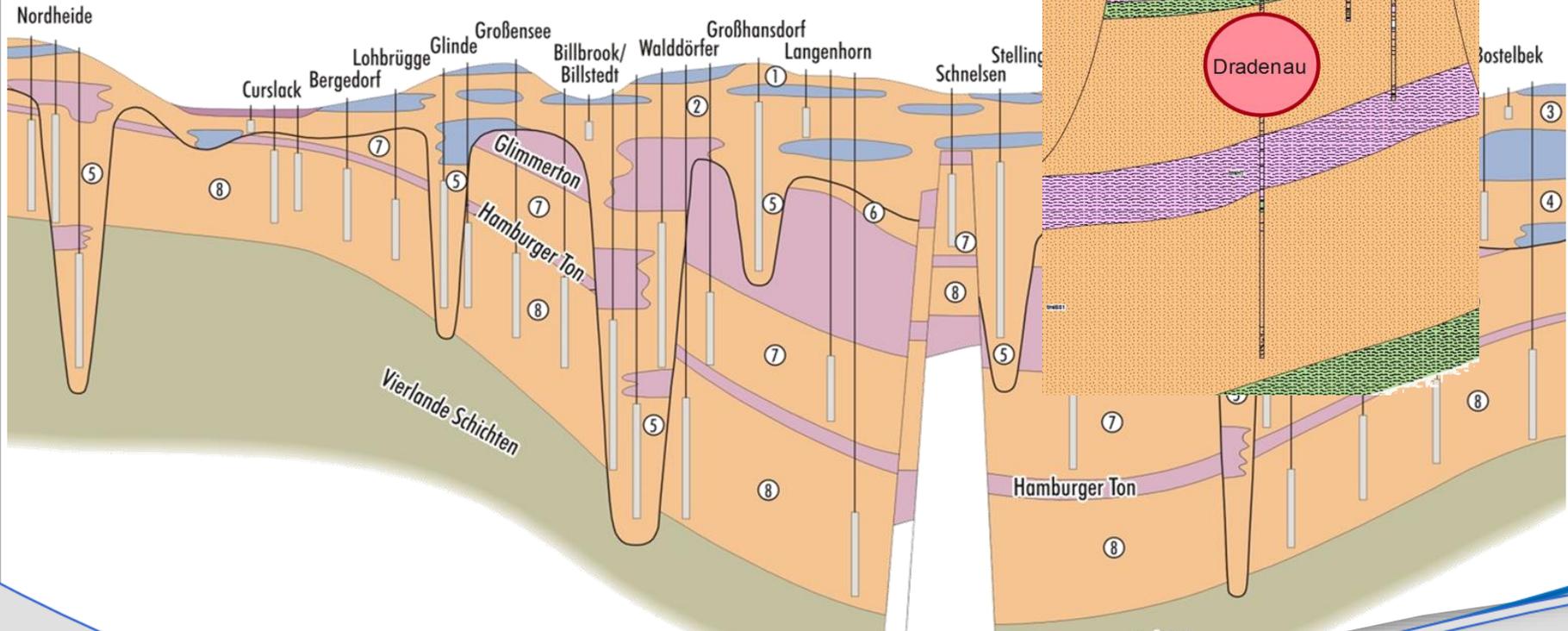
# GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Speicherhorizont in Tertiären Lockergesteins-  
Grundwasserleitern (Braunkohlensande, Miozän)

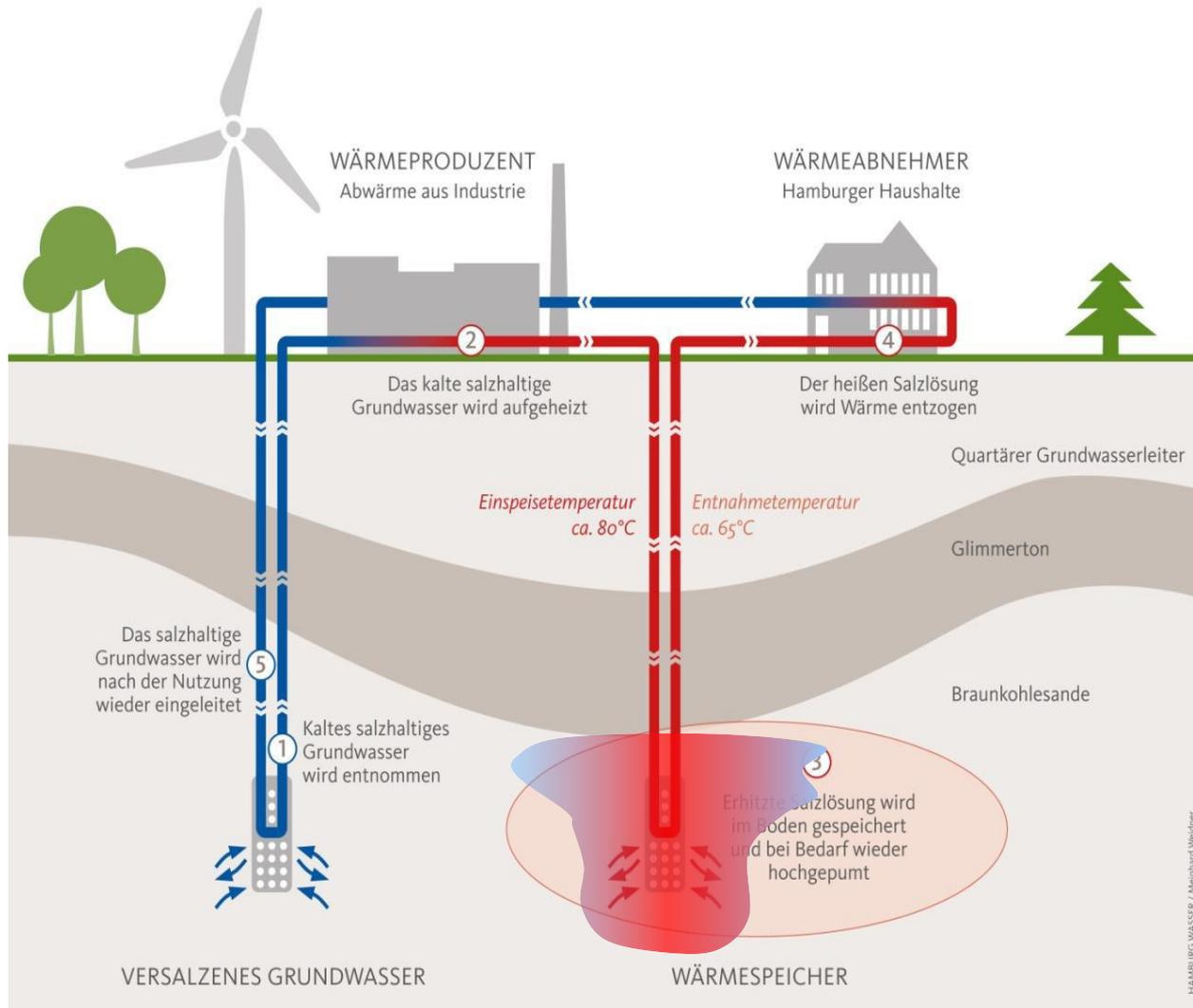
Teufe: ~ 200 - 300 m u GOK

Abdeckung der Speicherformation durch > 100 m  
mächtige Tonserien

**Höher Salinare Grundwässer**



# FUNKTIONSWEISE AQUIFER-WÄRMESPEICHER



## Speicherzyklus

Entnahme von Grundwasser (14°C) aus einem Hilfsbrunnen

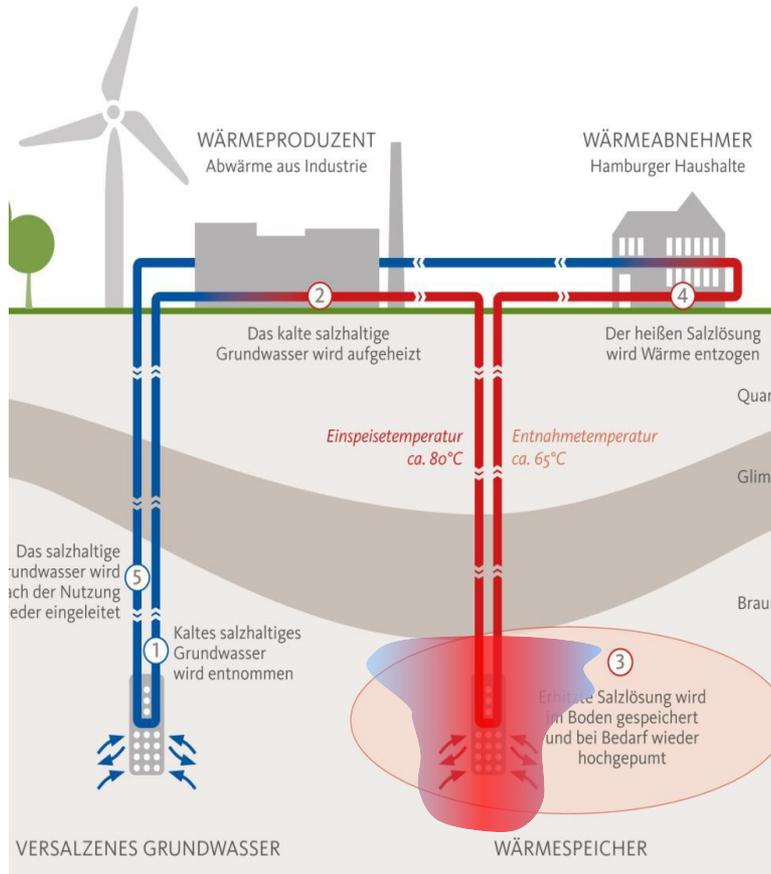
Erwärmung auf bis zu 80°C und Reinfiltration in den Produktionsbrunnen

Speicherung der Wärme über Wochen und Monate

Rückförderung und Rückgewinnung der Wärme

Reinfiltration des abgekühlten Wassers

# ZIELE DES PILOTVERSUCHES



Erkundung der lokalen Hydrogeologie und der Aquifer-Kenngrößen

Ermittlung der notwendigen Daten für die Kalibrierung eines numerischen Wärmetransportmodells

Untersuchungen zu Art- und Umfang von Beschaffenheitsänderungen im beeinflussten Grundwasser

Untersuchung von Scaling-Prozessen

Nachweis der Beherrschbarkeit der Technologie mittels Messdaten aus dem Monitoringprogramm

Ermittlung des Wärmerückgewinnungsfaktors



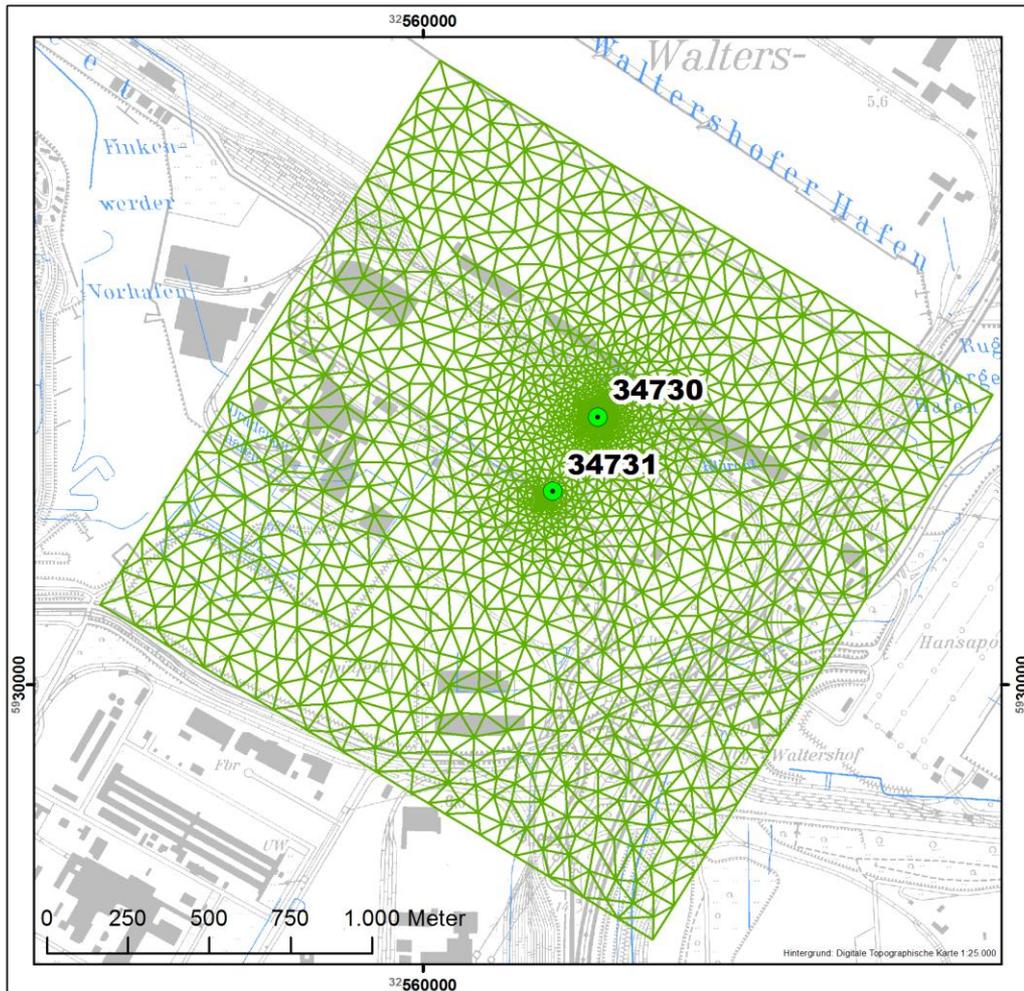
- **Projektbeginn  
Januar 2017**
- **Standortsuche, Ausarbeitung  
Versuchskonzept, Monitoring,  
Planung und Ausschreibung  
Brunnenbauarbeiten und  
Anlagentechnik**
- **Einbindung der  
Genehmigungsbehörde u.a. im  
Rahmen von Workshops**
- **Abnahme der Brunnen am  
14.08.2017**
- **Beginn des Versuchs:  
Ende August 2017**
- **Abschluss:  
Ende Oktober 2017**



## Technische Daten

1. Durchführung von 3 Infiltrations- und 3 Förderphasen über eine jeweilige Dauer von 8 Tagen
2. Förder- und Einleitungsrate konstant 20 m<sup>3</sup>/h.
3. Einleitungstemperatur möglichst 85 °C
4. Durchführung eines umfangreichen Messprogramms .

# GRUNDWASSERSTRÖMUNGS UND WÄRMETRANSPORTMODELL

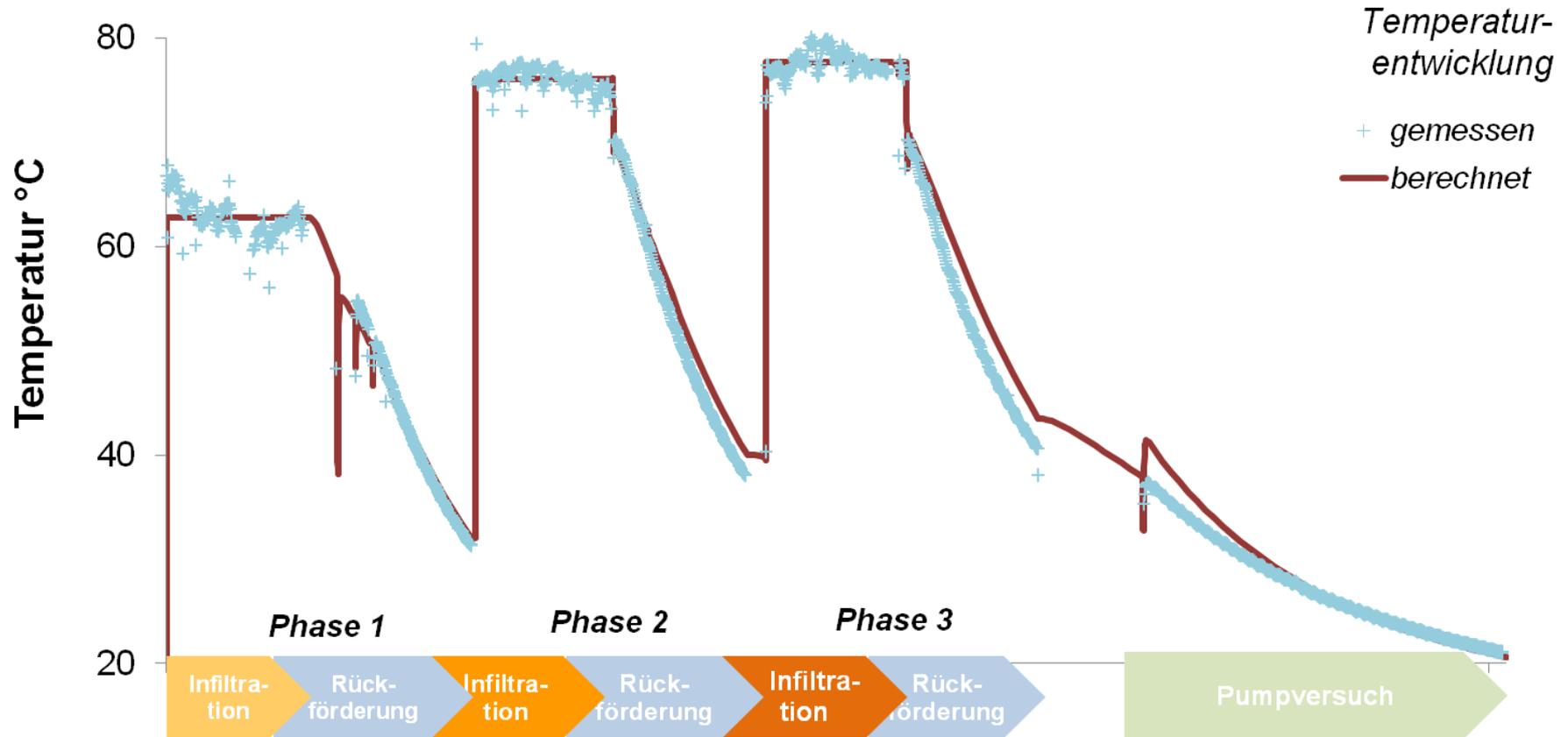


- Halbgenerisches Modell sukzessiv zu einem Standortmodell verfeinert
- FEFLOW 7.1
- 2 x 2 km  
38 Layer  
ca. 80.000 Modellknoten
- Detaillierte Abbildung des Produktionsbrunnens
- Randbedingungen aus Großraum-Modell des Hamburger Untergrunds

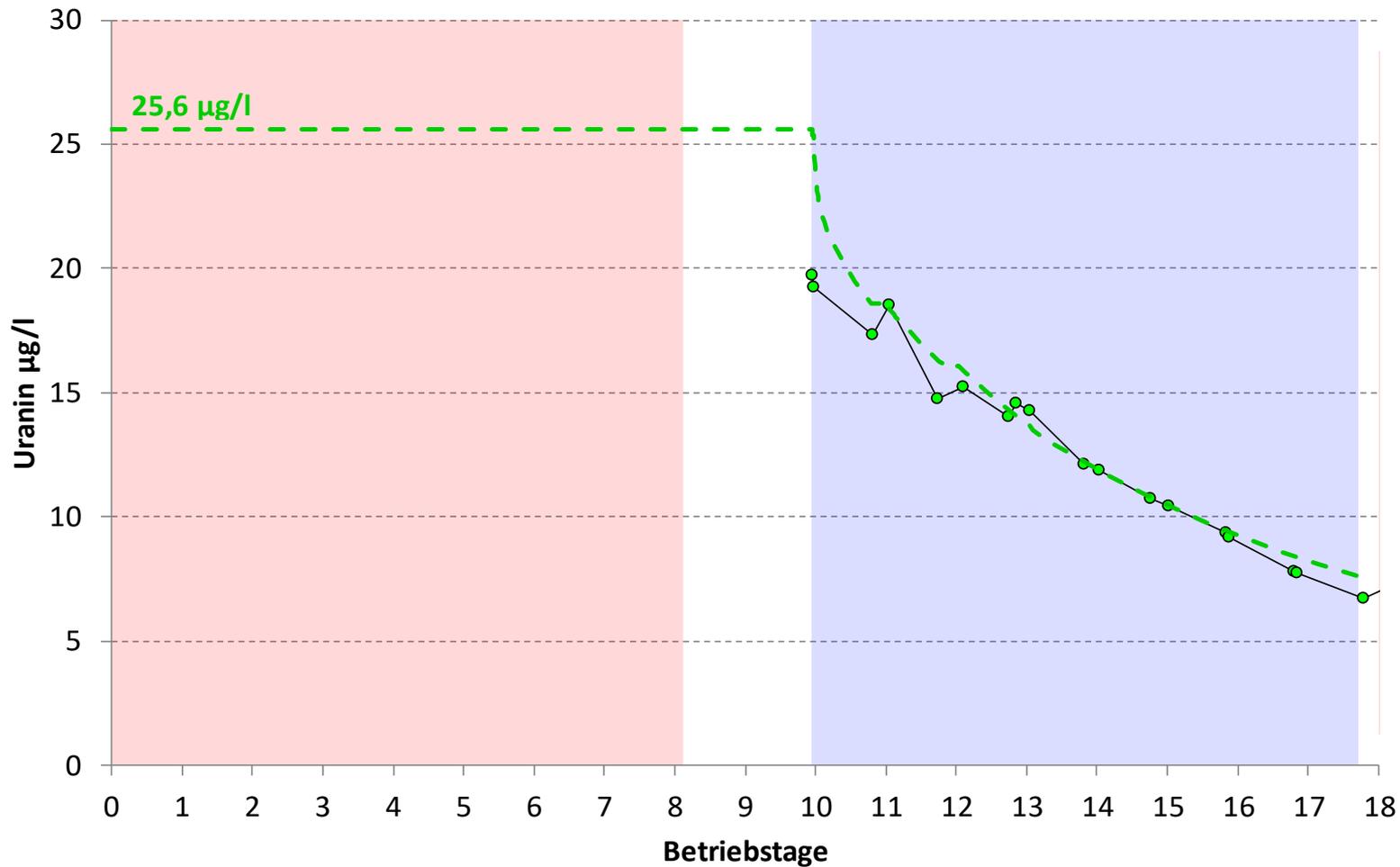


## Vom generischen Modell zur standörtlichen Prozesssimulation

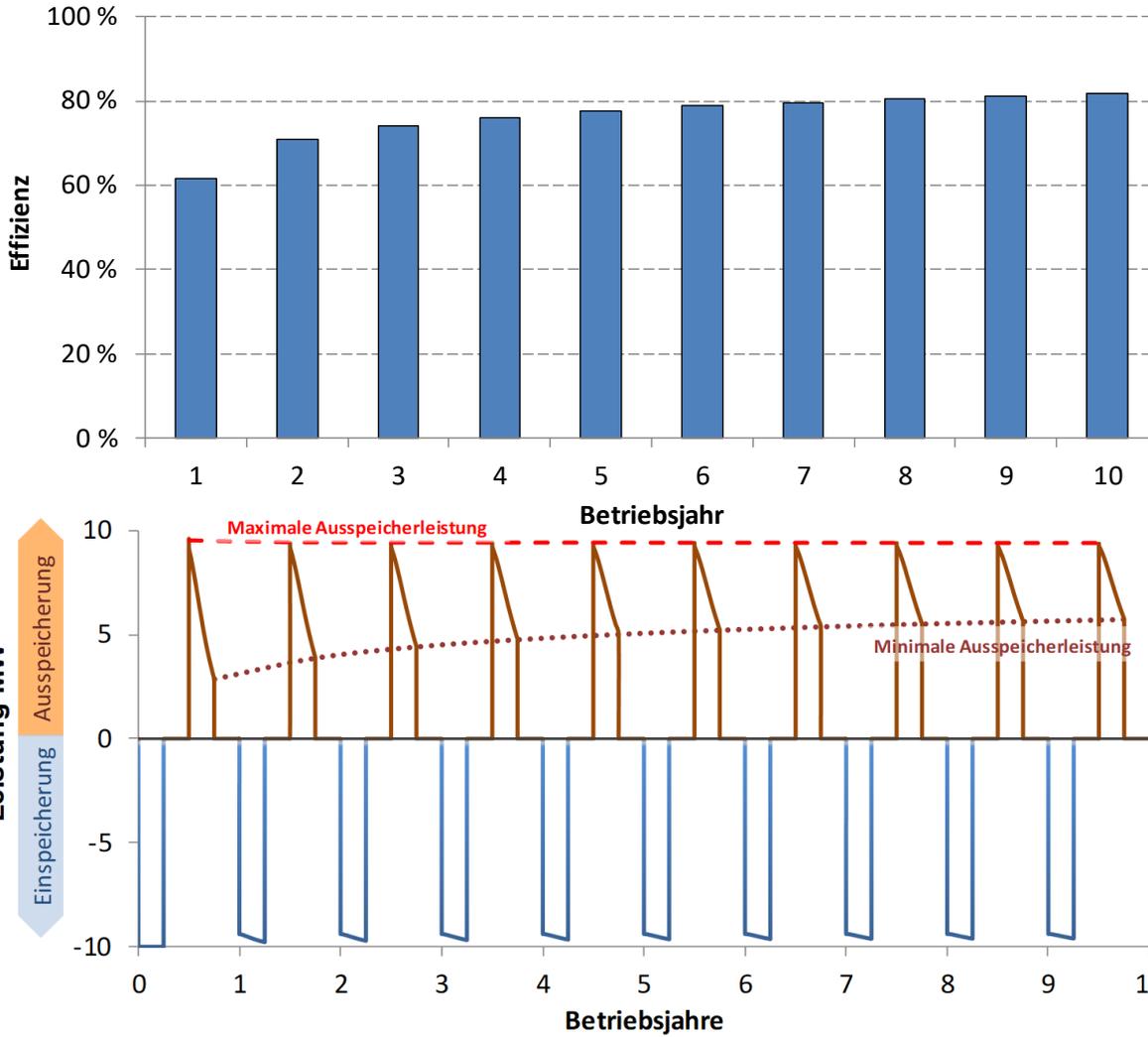
Vollständige Prozesssimulation der Wärmespeicherung erfolgreich umgesetzt, das Modell ist jetzt das zentrale Planungswerkzeug für die großtechnische Umsetzung und die Bewertung der Genehmigungsfähigkeit



# PLAUSIBILITÄTSTEST – TRACERVERSUCH UND KALIBRIERUNG



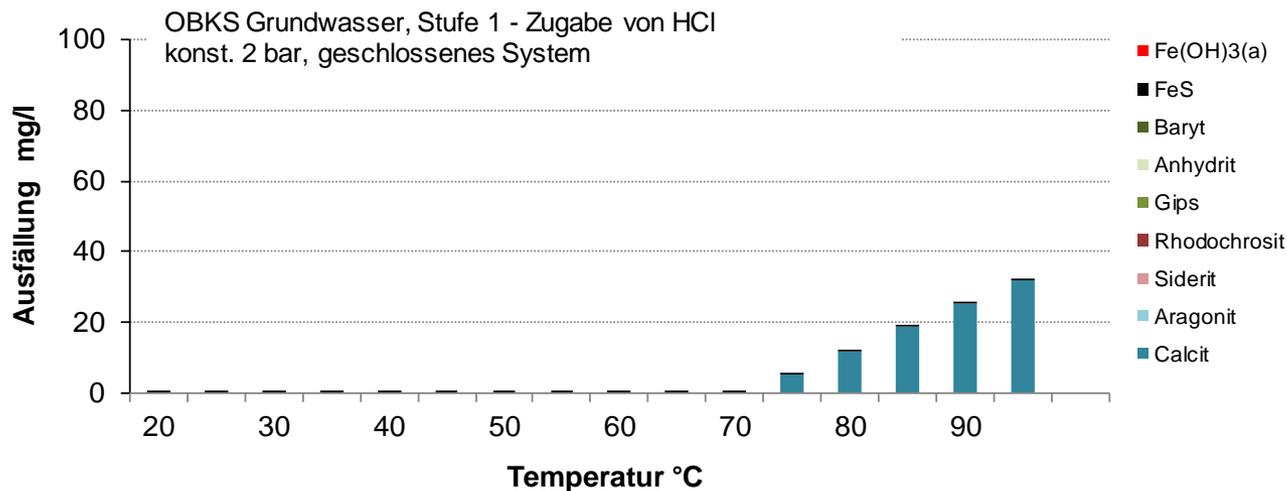
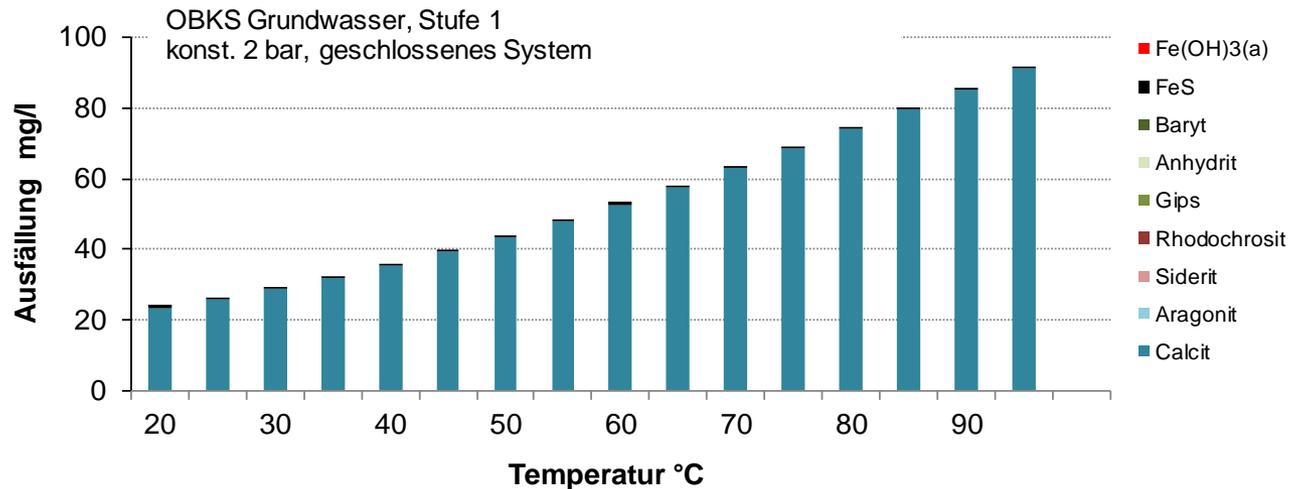
# Langzeitverhalten



- **Langzeit-Betriebssimulation über 10 Jahre - Beispiel -**
- **Idealisiertes Ein- und Ausspeicher-schema:**

*90 Tage Einspeicherung  
90 Tage Speicherung  
90 Tage Ausspeicherung  
90 Tage Betriebspause*

# RISIKEN - BRUNNENALTERUNG

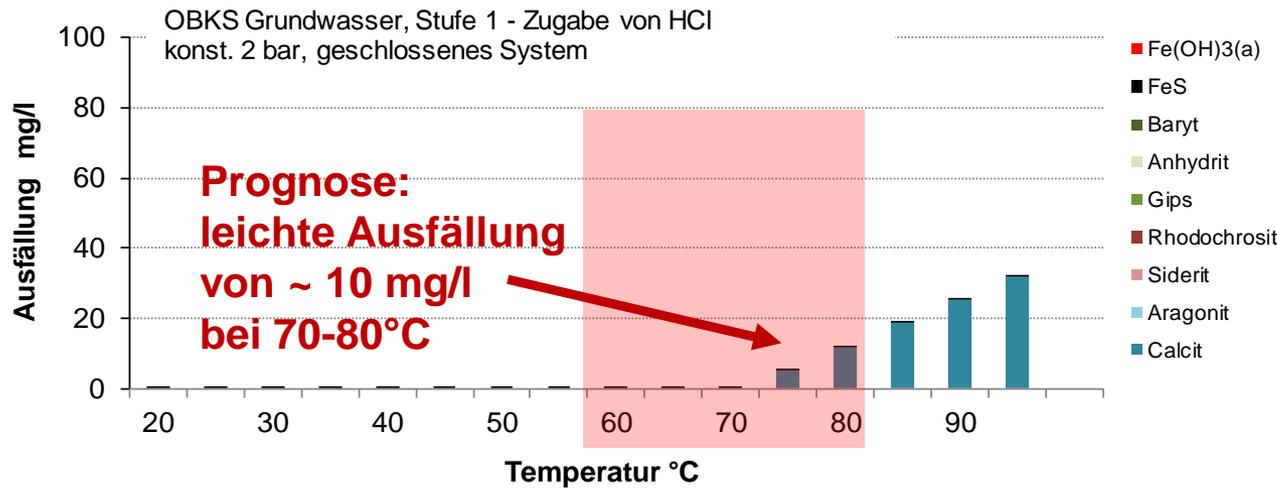
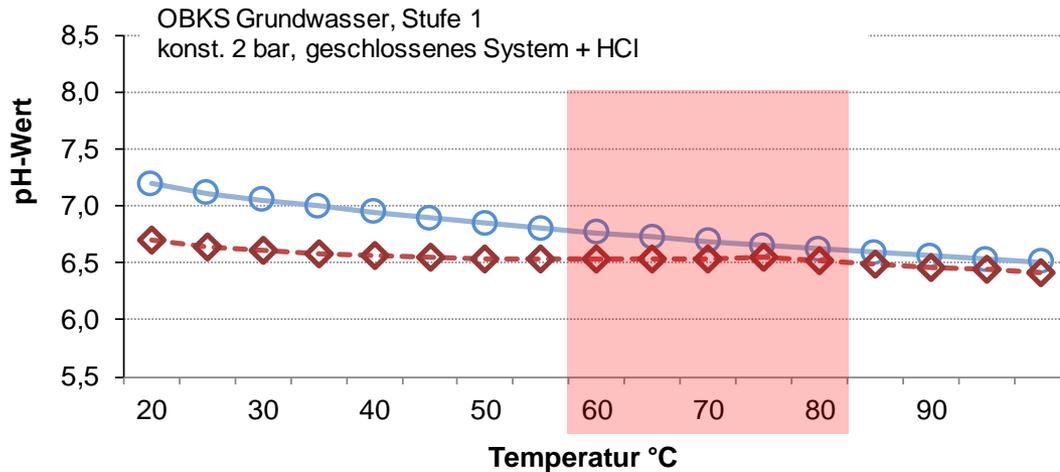


**Hauptrisiko für Anlage und Brunnen: Versinterung**

**Ursache:**  
Verschiebung des temperatur-abhängigen Löslichkeitsgleichgewichts für Calcit und Entgasung durch Druckentlastung

**Maßnahme:**  
Ansäuerung vor Aufwärmung

# RISIKEN - BRUNNENALTERUNG



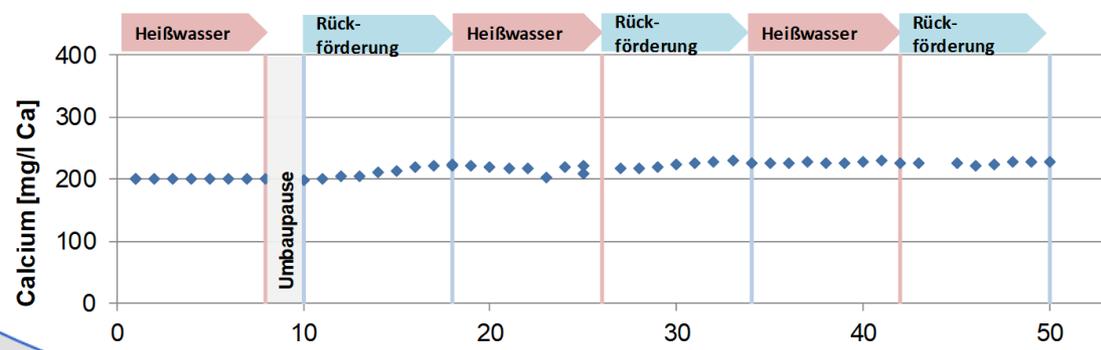
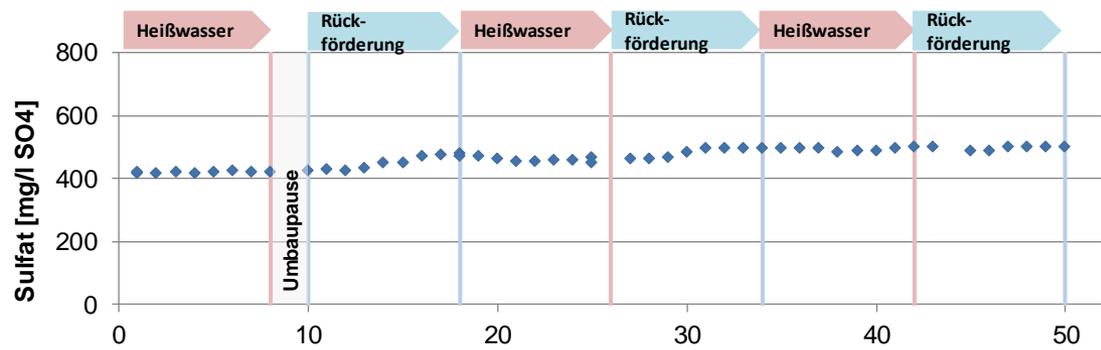
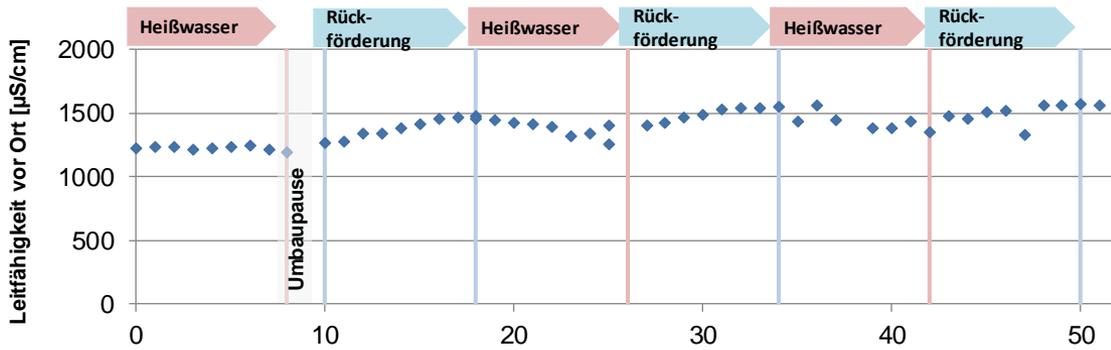
**Temperaturfenster  
Heißwasser-Einleitung**

**Hauptrisiko für  
Anlage und  
Brunnen:  
Versinterung**

**Ursache:**  
Verschiebung des  
temperatur-  
abhängigen  
Löslichkeitsgleichwi-  
chts für Calcit und  
Entgasung durch  
Druckentlastung

**Maßnahme:**  
Ansäuerung vor  
Aufwärmung

# WASSERBESCHAFFENHEIT (HAUPTINHALTSSTOFFE)



## Leitfähigkeit

Ansteigende LF im Verlauf des Versuchs, vor allem in den ersten beiden Rückförderphasen

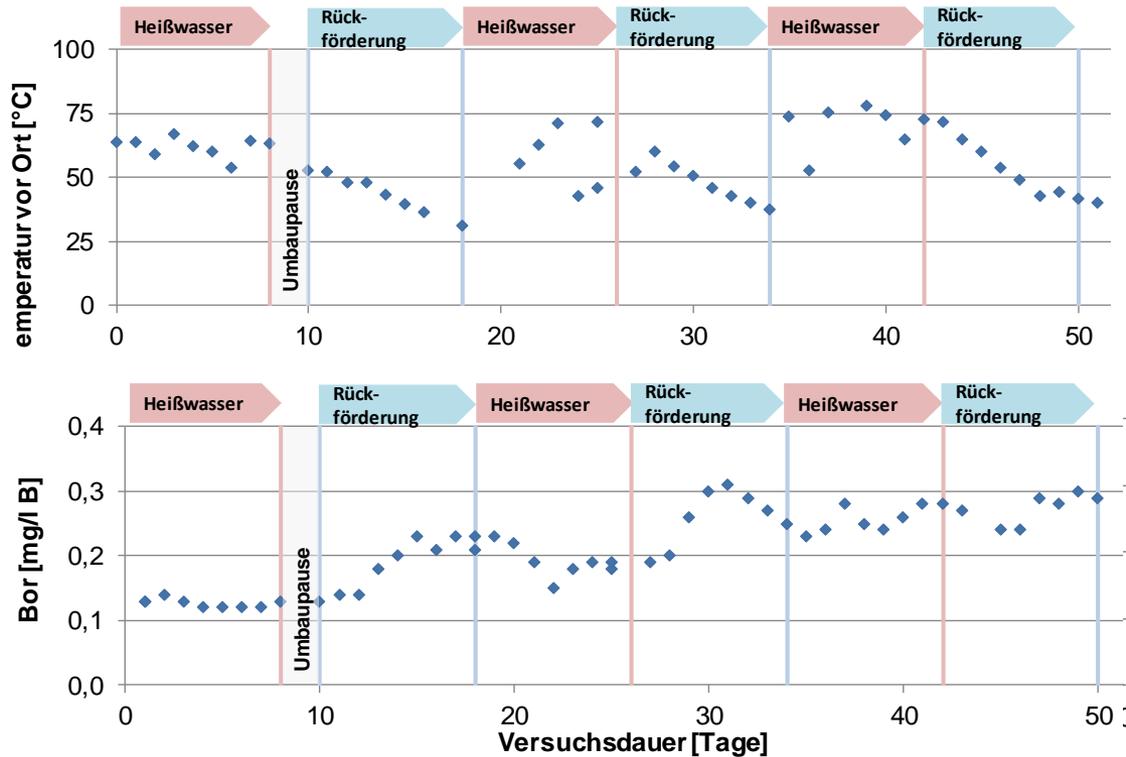
Leitfähigkeitsentwicklung spiegelt den Anstieg der Hauptinhaltsstoffe wieder

**Chlorid: 60 → 150 mg/l**  
Salzsäuredosierung und Na-Cl-Typ Tiefenwasser

**Sulfat: : 400 → 500 mg/l**  
Ca-SO<sub>4</sub>-Typ Wasser aus dem OBKS – TOP

**Calcium: 200 → 230 mg/l**  
Ca-SO<sub>4</sub>-Typ Wasser aus dem OBKS – TOP

# WASSERBESCHAFFENHEIT (1. SCHWERMETALLE UND SPURENELEMENTE)



Blei, Cadmium, Chrom, Nickel, Uran, Quecksilber

Immer unterhalb der Bestimmungsgrenzen

**Kein Hinweis auf Mobilisierung**

Arsen, Zink, Kupfer

einzelne unsystematische Befunde über BG

**Kein Hinweis auf Mobilisierung**

Bor

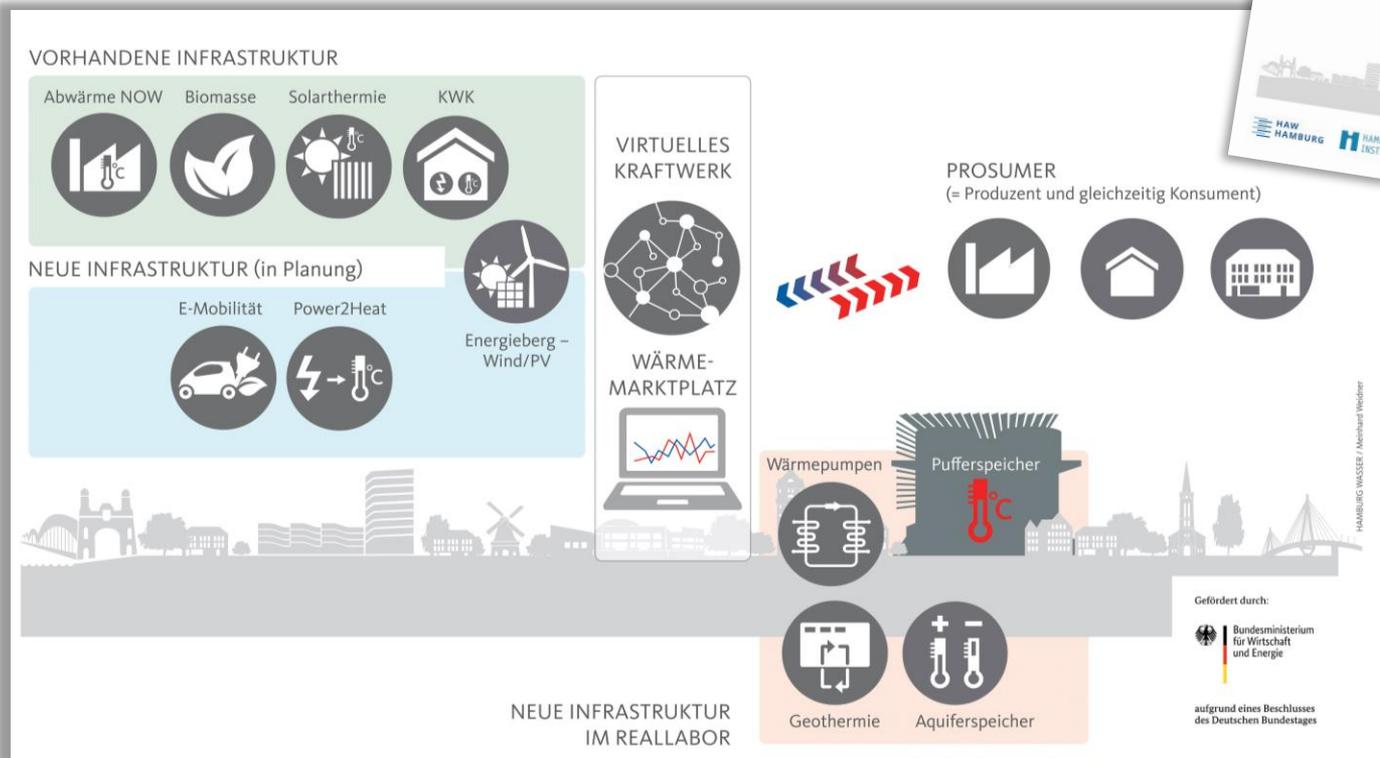
Anstieg im Verlauf des Versuchs

**Zumischung höher salinärer Wässer**

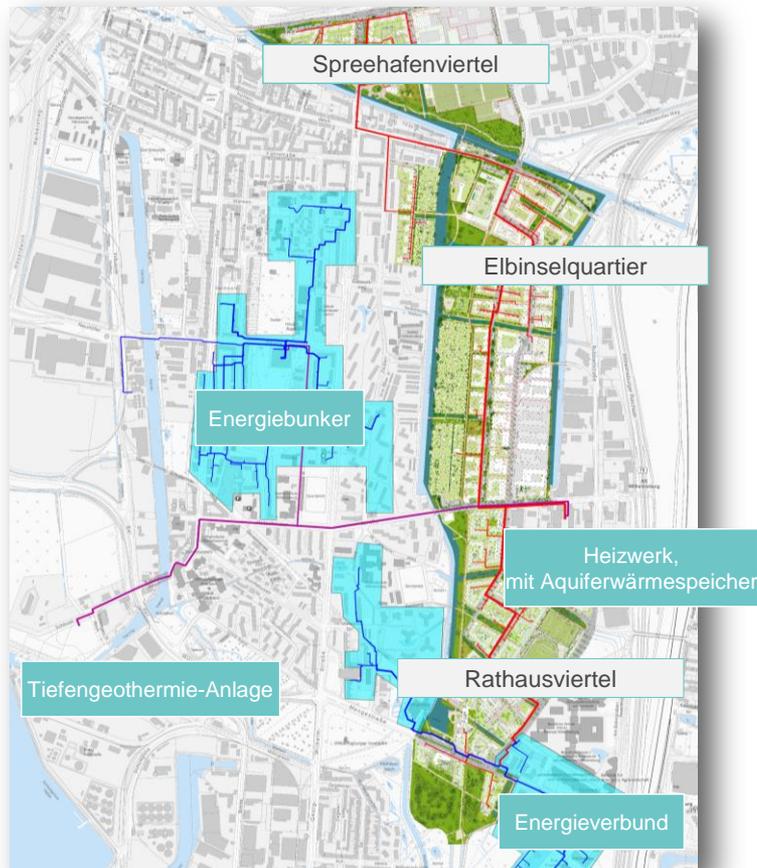
- Der Pilotversuch belegt die Machbarkeit einer saisonalen Wärmespeicherung an einem Standort im tieferen Untergrund der FHH
- Monitoring des Pilotversuch hat die erforderlichen Grundlagen für den Aufbau numerischer Modelle (Wärmetransportmodelle und chemische Stofftransportmodelle) geliefert
- Prozesssimulationen dienen der geo-systemaren Auswertung der erhobenen Daten zeigen die Beherrschbarkeit / Anwendbarkeit der Technologie
- Upscaling der Daten mit Modellen als Planungsgrundlage für die großtechnische Umsetzung

# IW<sup>3</sup> - EIN REALLABOR DER ENERGIEWENDE

- IW<sup>3</sup> - Integrierte Wärmewende Wilhelmsburg**  
 mit dem Reallabor IW<sup>3</sup> wurde ein Gesamtkonzept erarbeitet, das für Aufmerksamkeit auf Bundesebene gesorgt hat

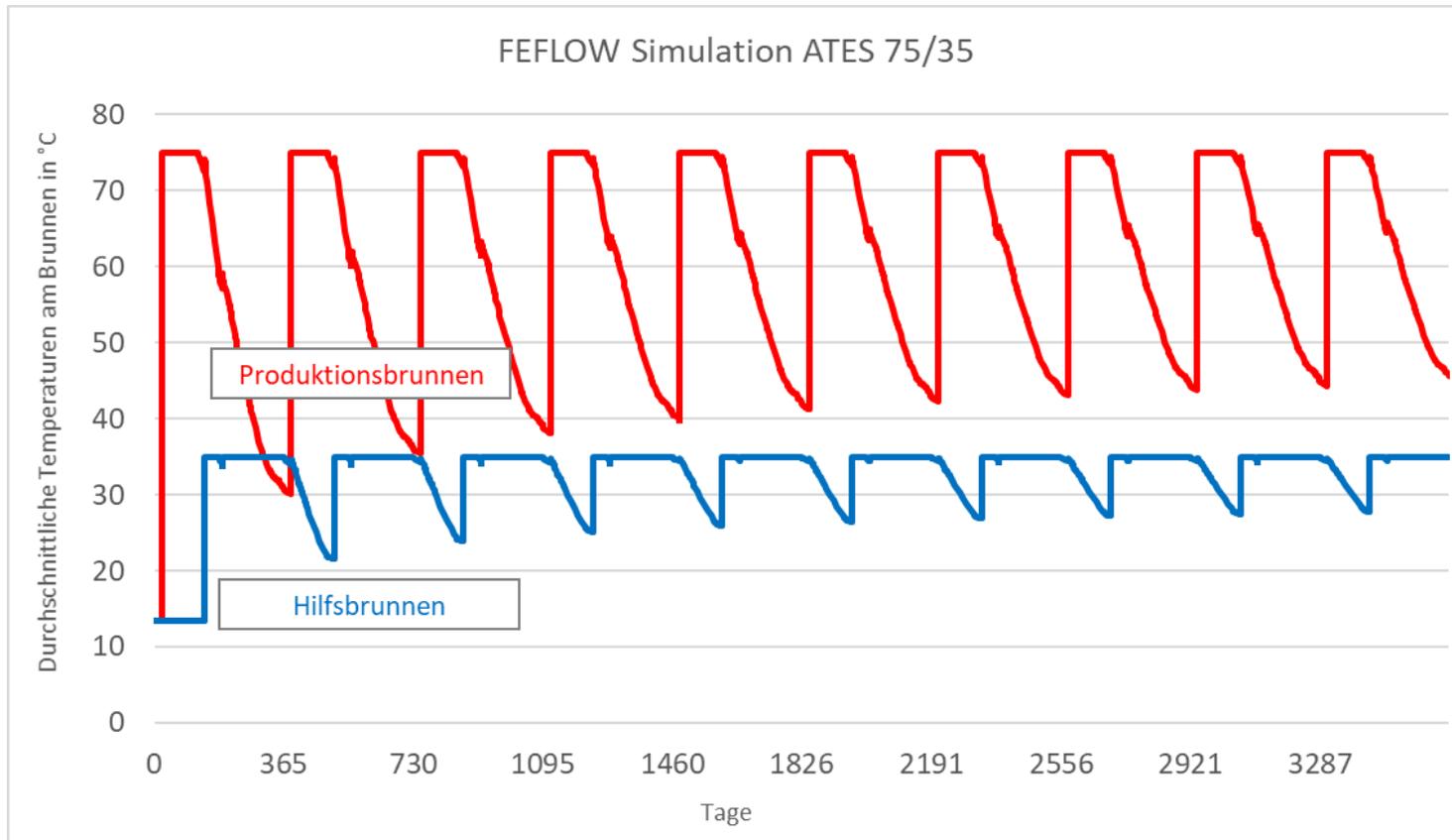


# ERNEUERBARE WÄRMEVERSORGUNG HH- WILHELMSBURG

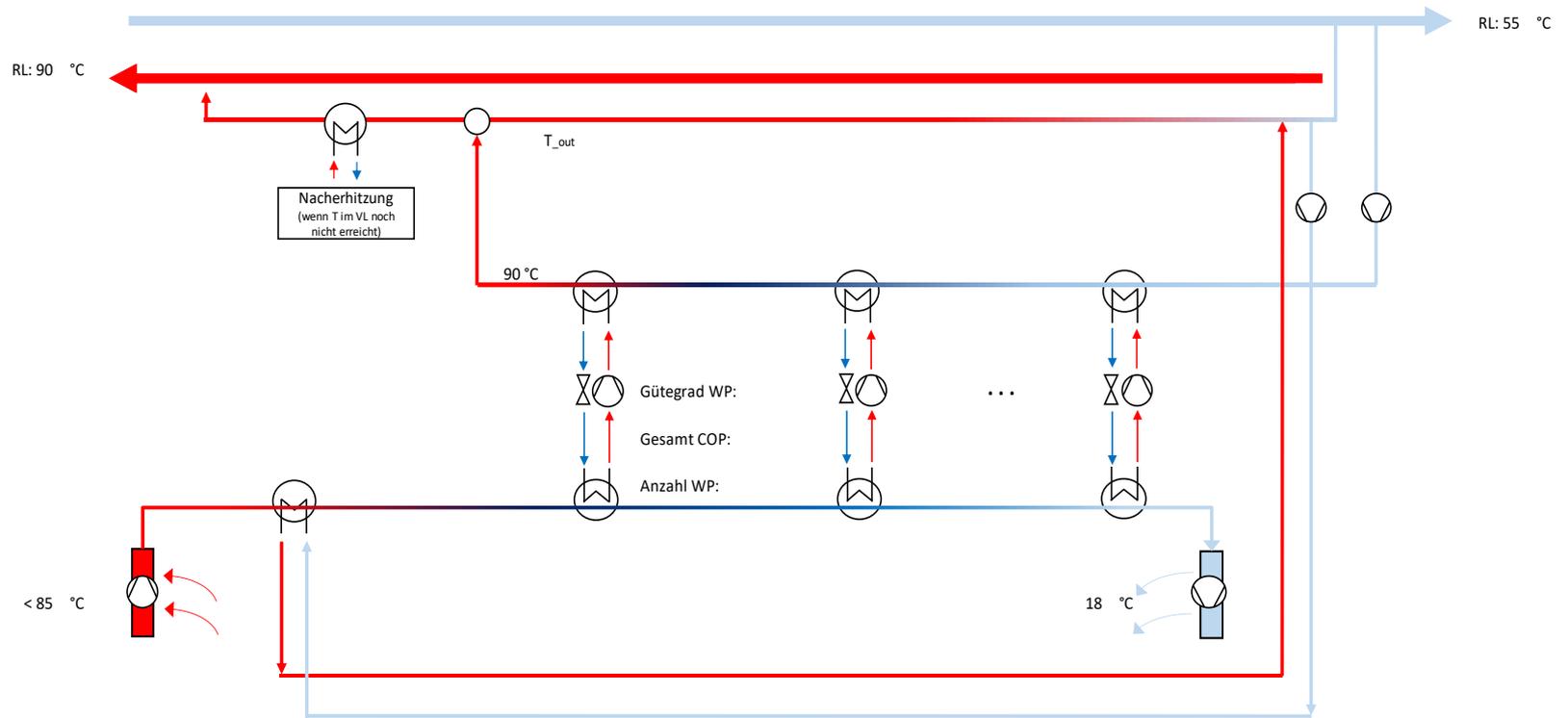


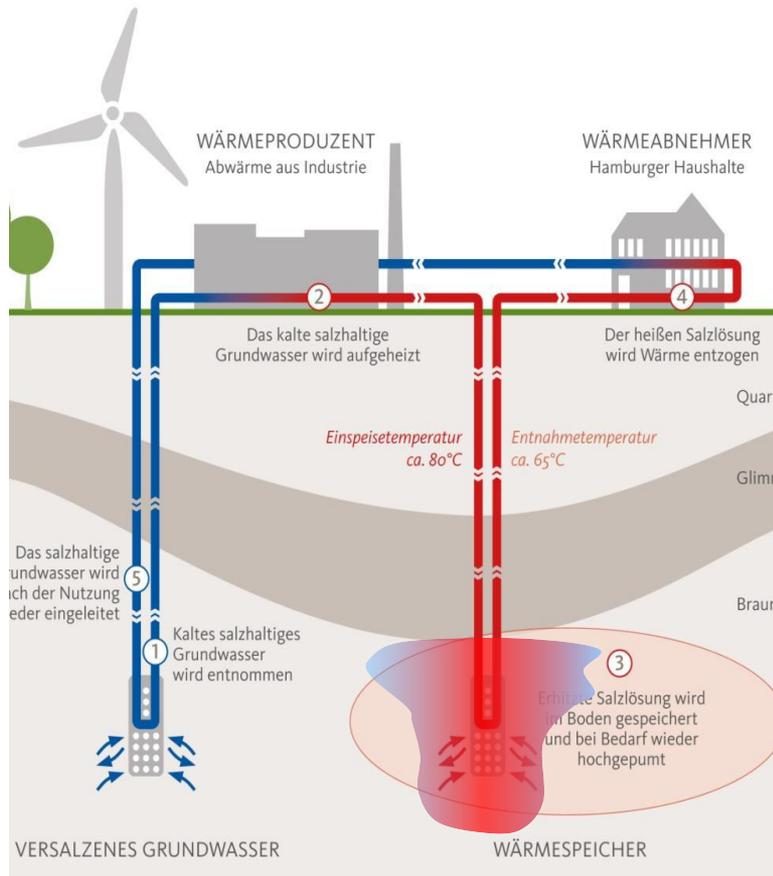
- **Sukzessive Erschließung der IBA-Neubauquartier**  
Versorgung von > 5.000 Wohneinheiten im Endausbau  
Potential für den Anschluss weiterer Objekte vorhanden
- **Geothermie als Basis der regenerativen Wärmeversorgung**  
Verfügbare Leistung > 10 MW • Wärmearbeit  $\geq 75$  GWh/a
- **Saisonaler Aquiferspeicher zur weiteren Erhöhung des regenerativen Versorgungsanteils in Wilhelmsburg**
- **Errichtung eines Wärmeverbundnetzes zur Versorgung der Wilhelmsburger Quartiere**
- **Die Wärmeversorgung erfüllt höchste ökologische Anforderungen**  
Primärenergiefaktor  $\leq 0,2$  • CO<sub>2</sub>-Faktor < 25 g/kWh  
Anteil erneuerbarer Energien > 95% • feuerungsfrei > 80%

# DIE HERAUSFORDERUNGEN DER SYSTEMINTEGRATION



# EIN BEISPIEL (WORK IN PROGRESS...)





**Vielen Dank für Ihre  
Aufmerksamkeit**

**Kontakt:**

**Dr. Carsten Hansen**

carsten.hansen@consulaqua.de

**Kai-Justin Radmann**

kai.radmann@consulaqua.de