

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:

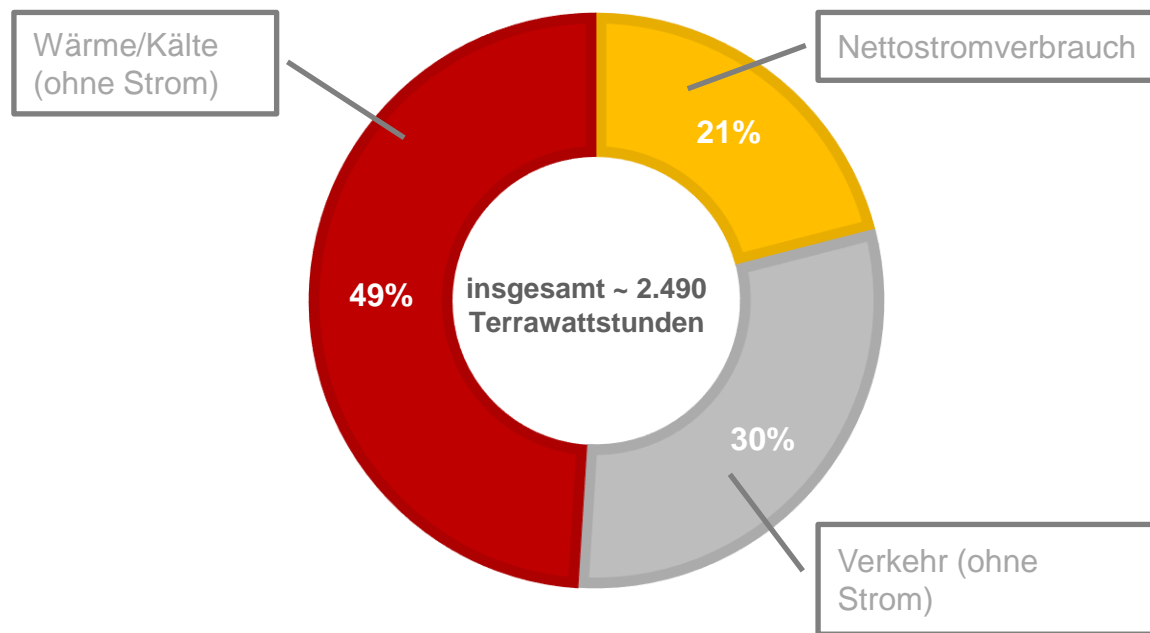
- bis 2030: Einsparung von **mind. 65 %** der Treibhausgasemissionen ggü. 1990
- bis 2040: Einsparung von **mind. 88 %** der Treibhausgasemissionen ggü. 1990
- bis 2045: Erreichung **Klimaneutralität!**

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

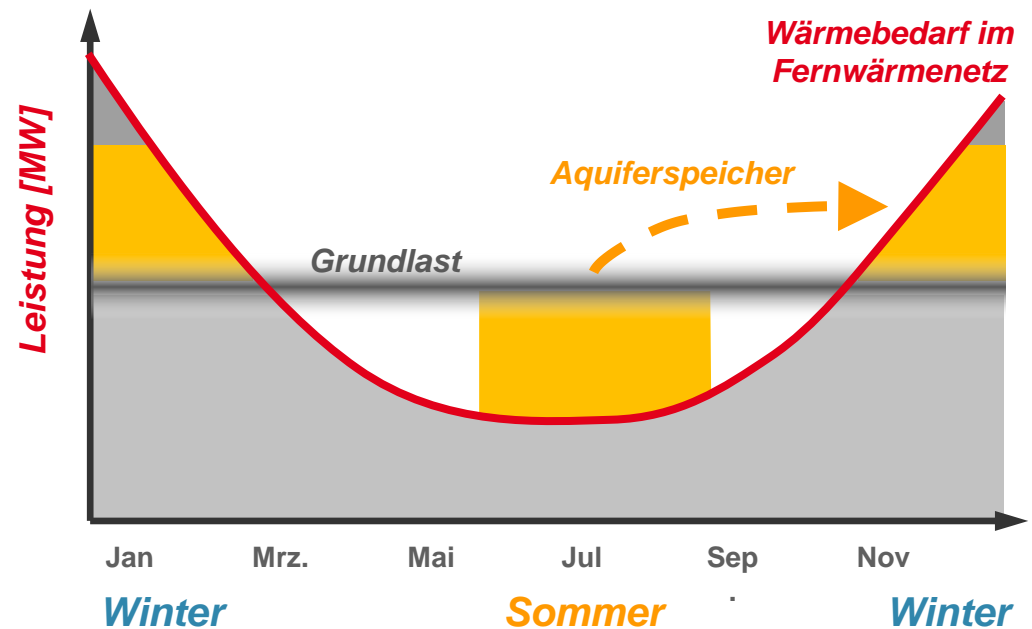
Endenergieverbrauch in Deutschland 2018



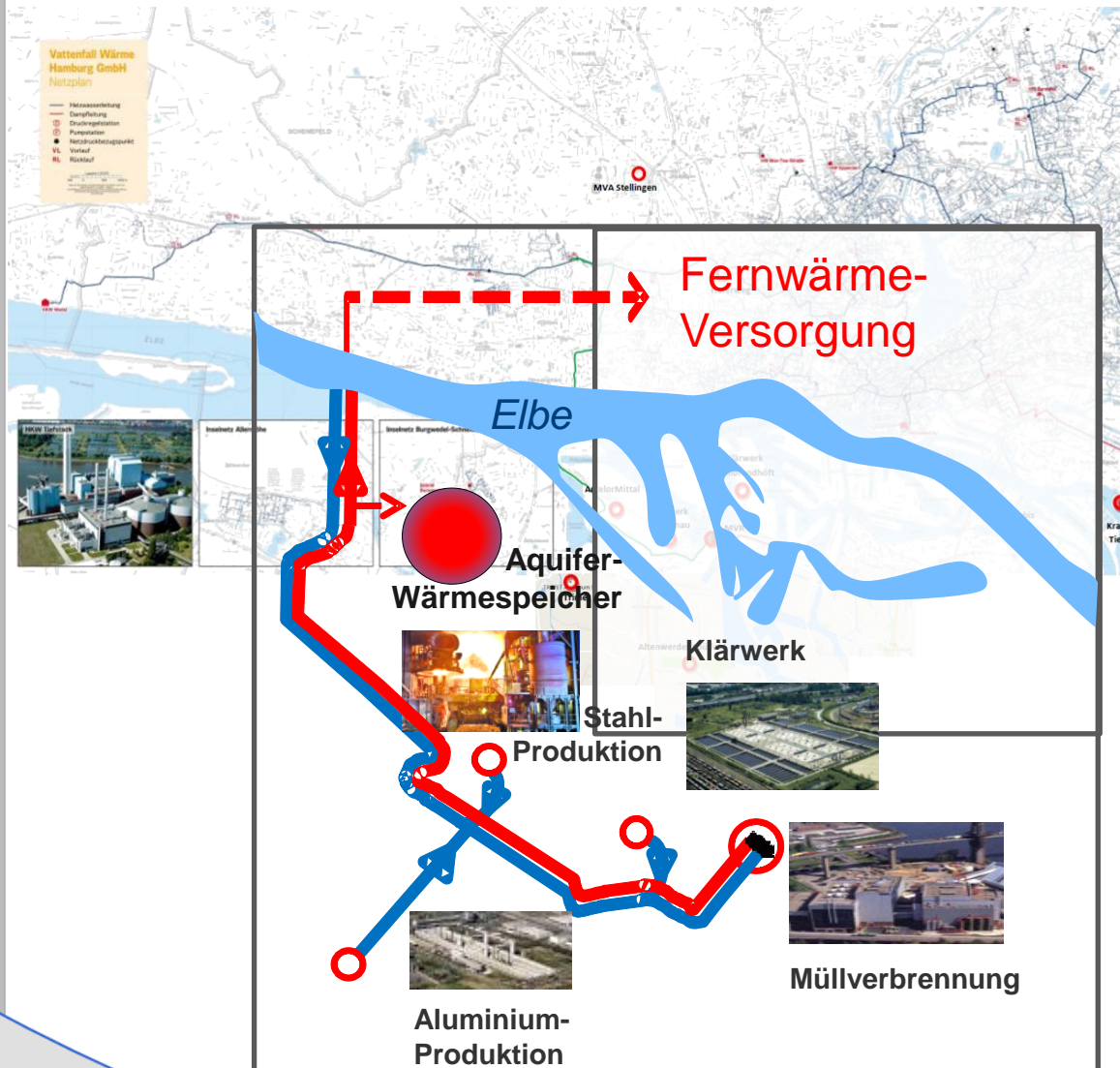
Quelle: BMWi, Energiedaten 2020 | Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e..V.

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

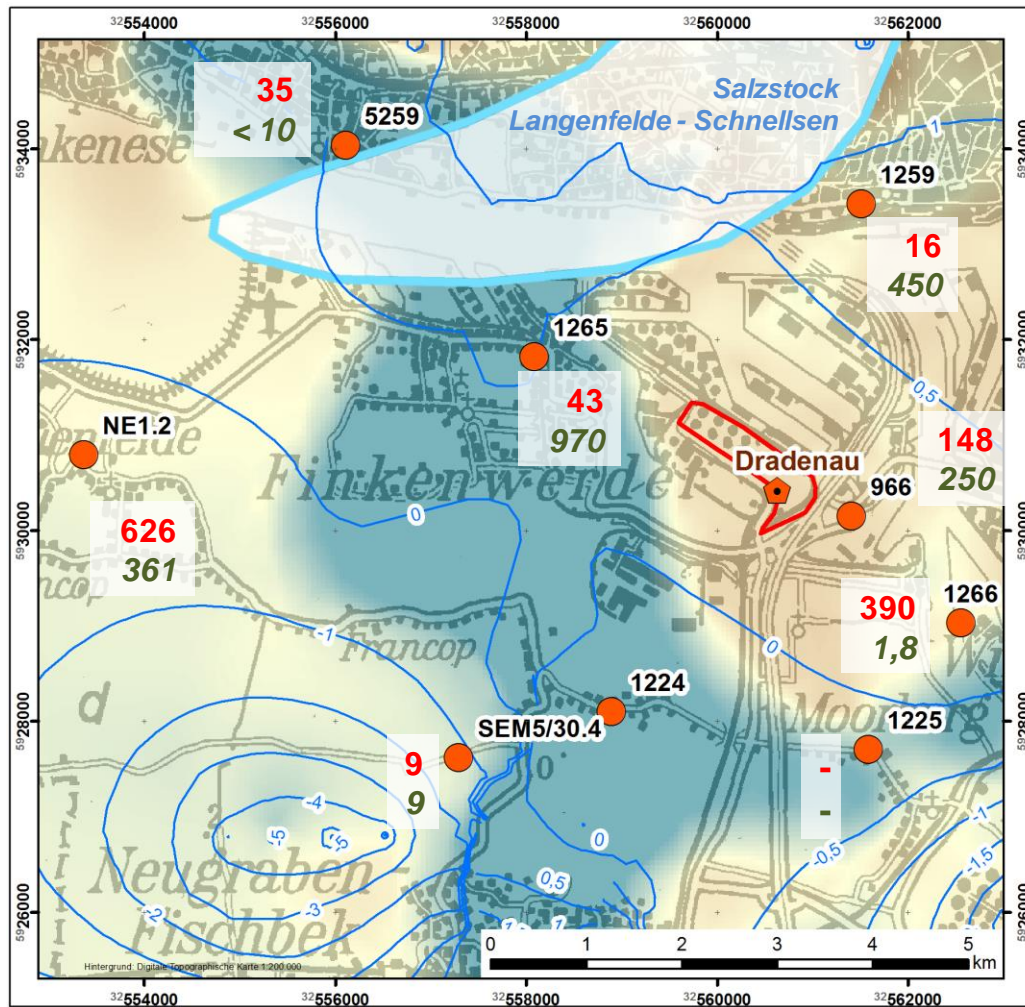
Ein abgängige Heizkraftwerk muss zeitnah ersetzt werden

Klimaschutzziele FHH:
CO₂ Reduktion um 50 % bis 2030 und um 80 % bis 2050

Klimaschutzziele nur bei Optimierung des Wärmesektors erreichbar!

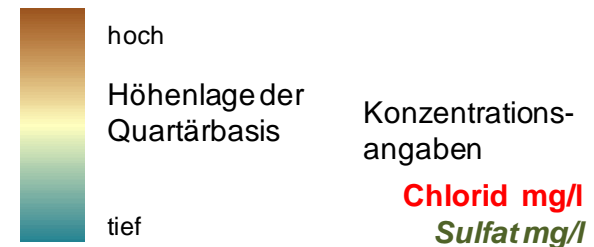
Es wird ein saisonaler Speicher für die dauerhafte Wärmeproduktion benötigt (Aquiferwärmespeicher)?

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



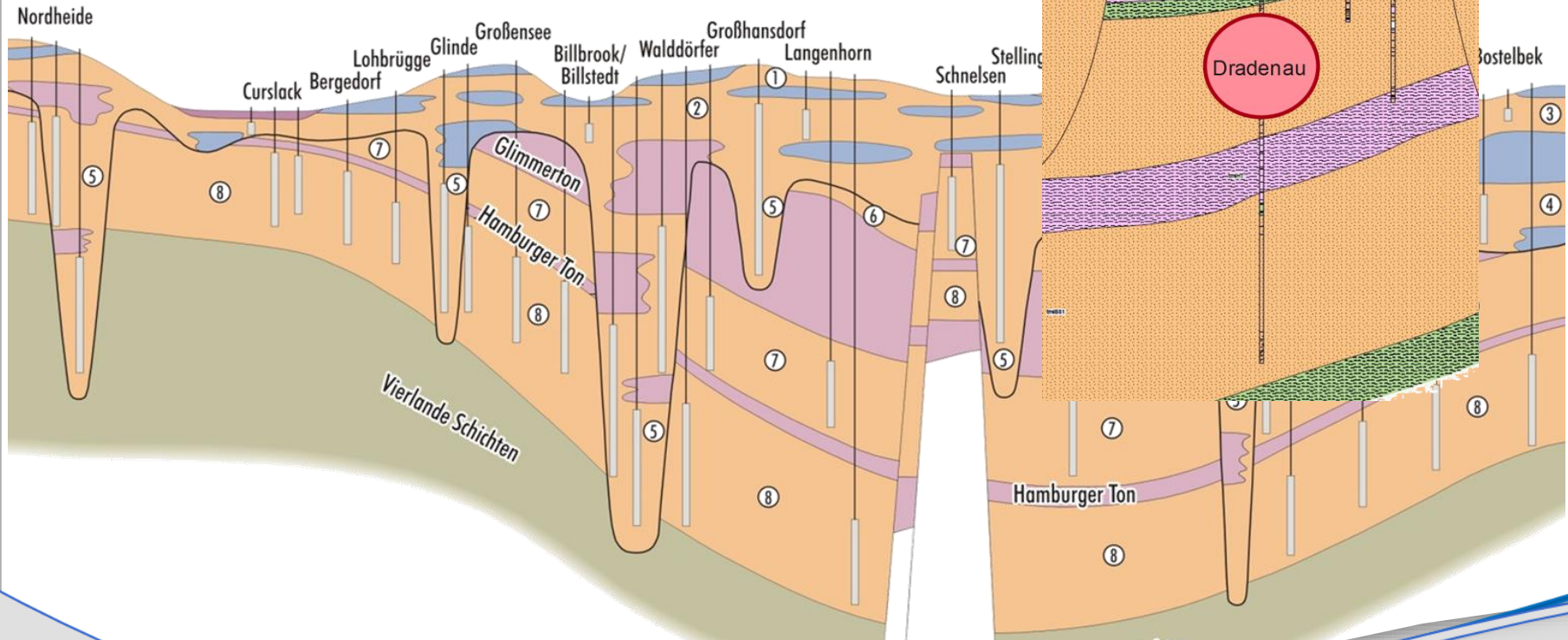
GEOLOGISCHER ÜBERBLICK

Speicherhorizont in Tertiären Lockergesteins-
Grundwasserleitern (Braunkohlensande, Miozän)

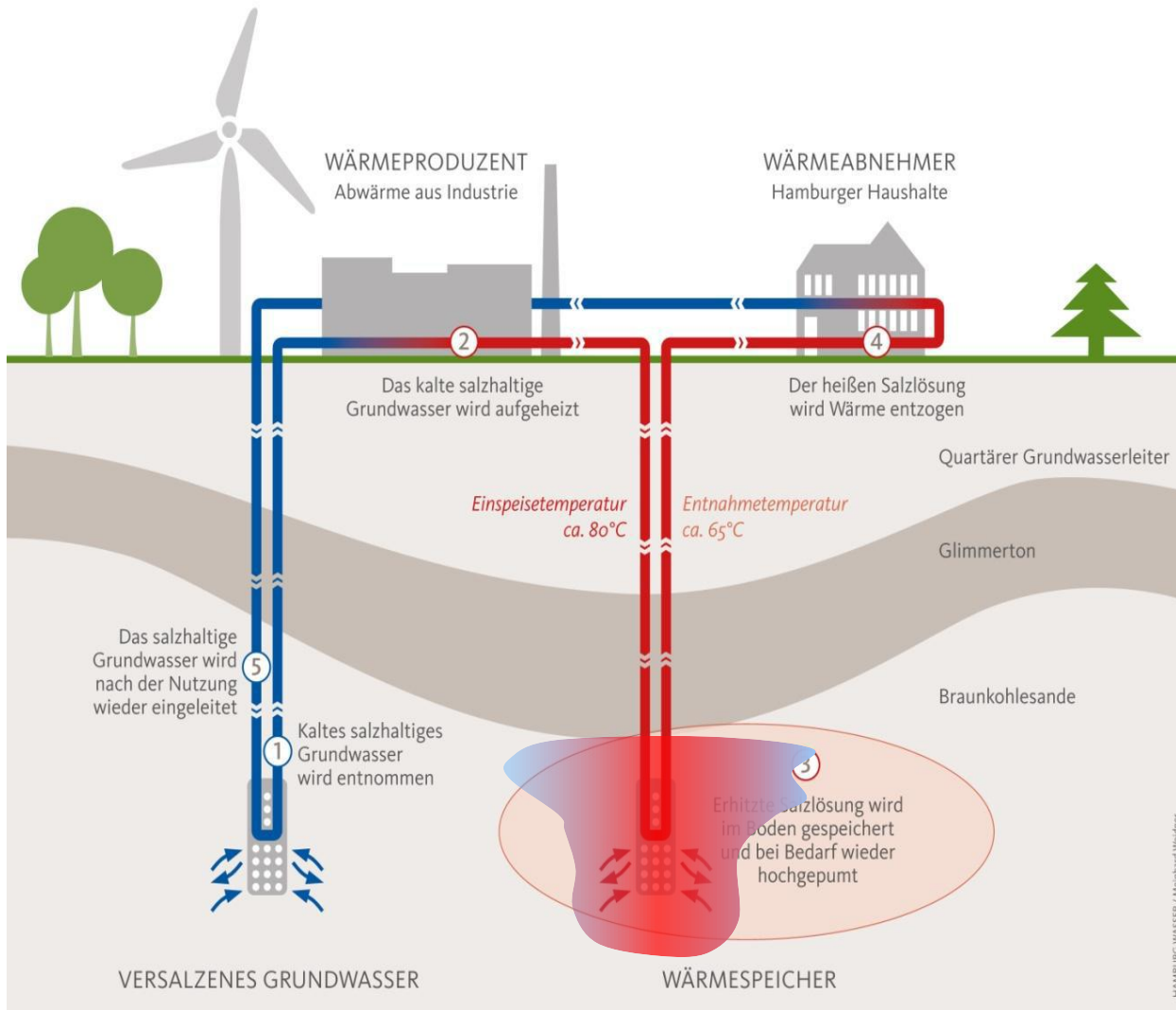
Teufe: ~ 200 - 300 m u GOK

Abdeckung der Speicherformation durch > 100 m
mächtige Tonserien

Höher Salinare Grundwässer



FUNKTIONSWEISE AQUIFER-WÄRMESPEICHER



Speicherzyklus

Entnahme von Grundwasser (14°C) aus einem Hilfsbrunnen

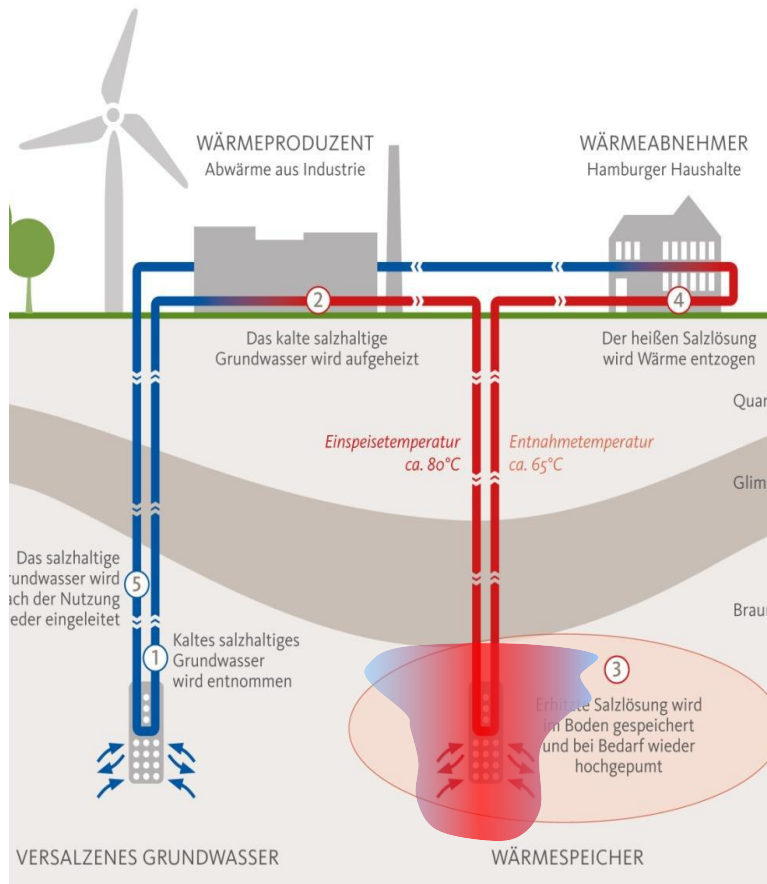
Erwärmung auf bis zu 80°C und Reinfiltration in den Produktionsbrunnen

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



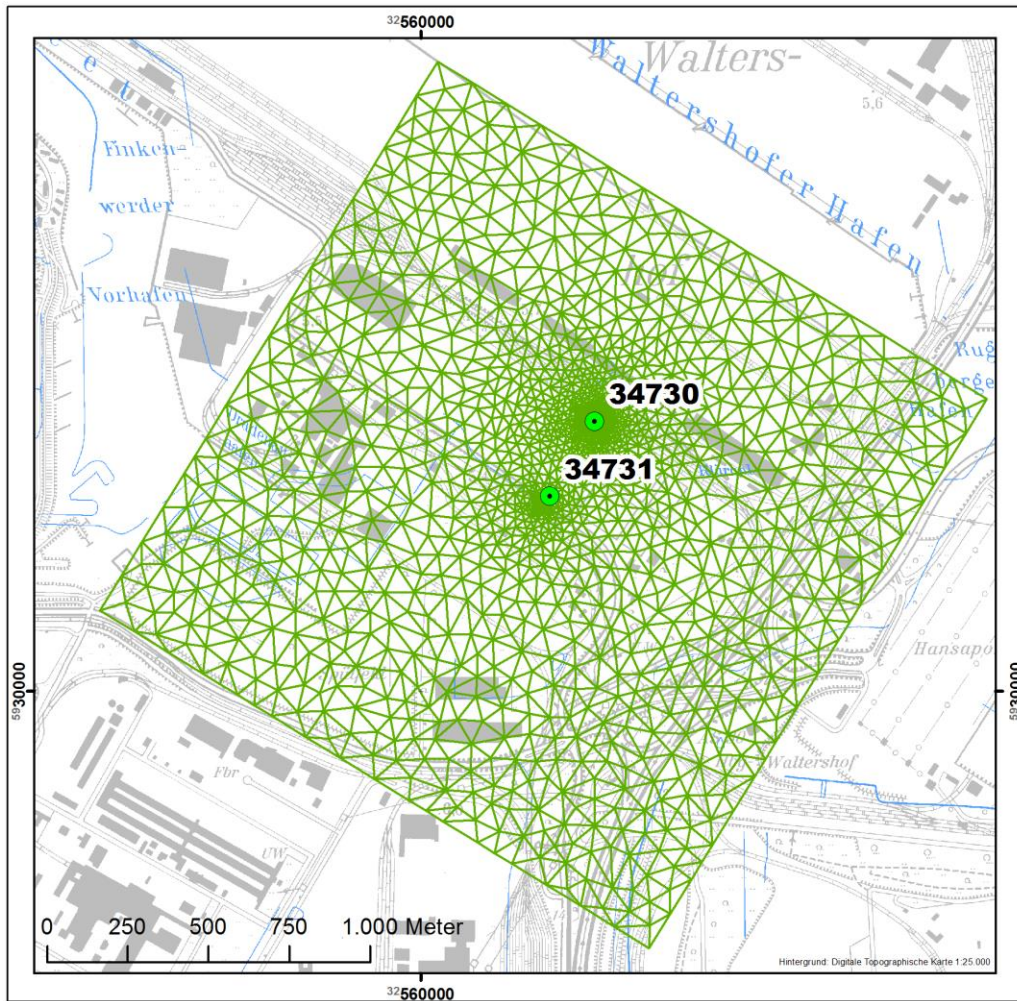
- **Projektbeginn
Januar 2017**
- **Standortsuche, Ausarbeitung
Versuchskonzept, Monitoring,
Planung und Ausschreibung
Brunnenbauarbeiten und
Anlagentechnik**
- **Einbindung der
Genehmigungsbehörde u.a. im
Rahmen von Workshops**
- **Abnahme der Brunnen am
14.08.2017**
- **Beginn des Versuchs:
Ende August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



Technische Daten

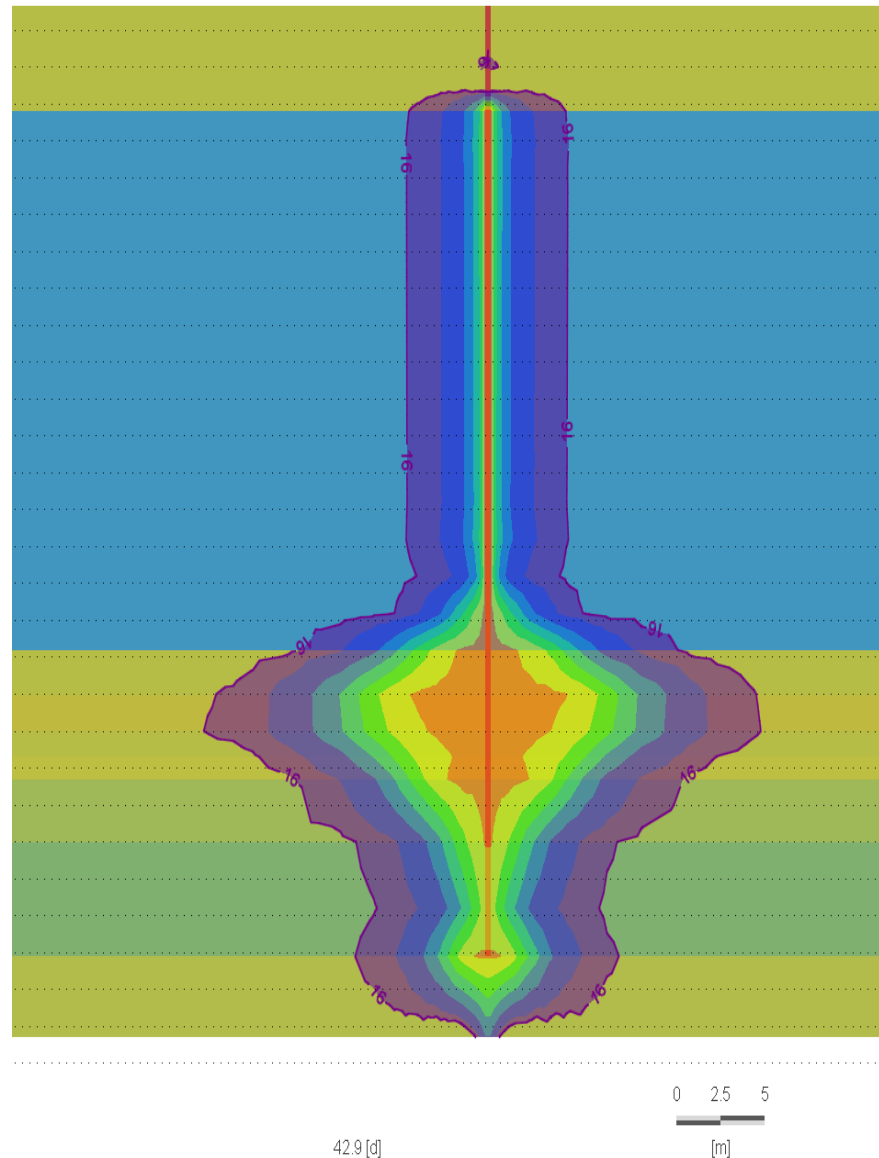
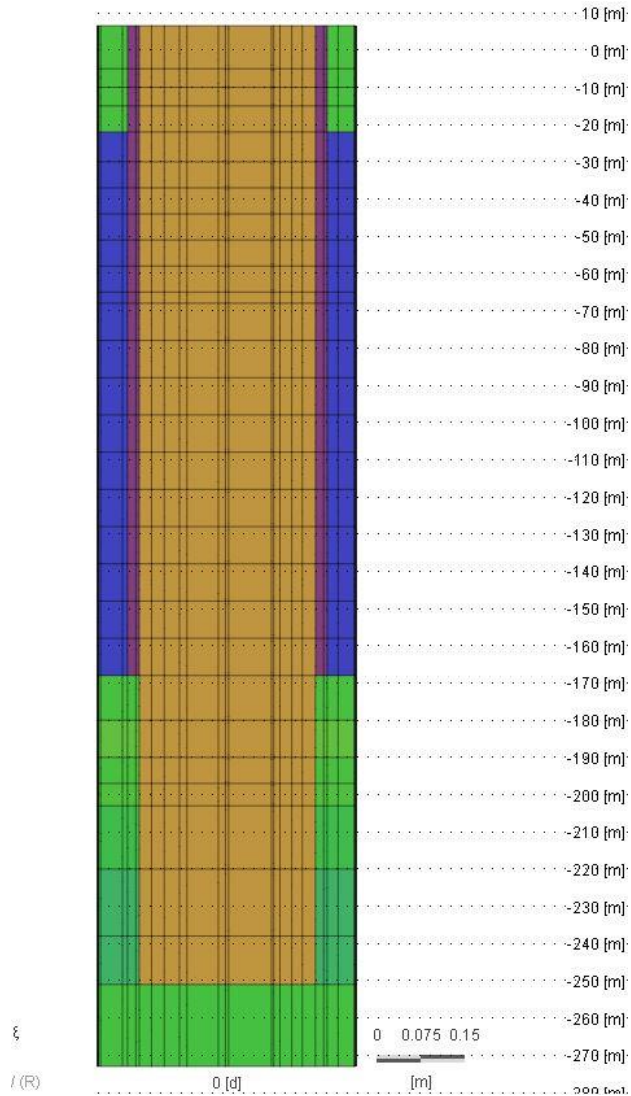
1. Durchführung von 3 Infiltrations- und 3 Förderphasen über eine jeweilige Dauer von 8 Tagen
2. Förder- und Einleitungsrate konstant 20 m³/h.
3. Einleitungstemperatur möglichst 85 °C
4. Durchführung eines umfangreichen Messprogramms .

GRUNDWASSERSTRÖMUNGS UND WÄRMETRANSPORTMODELL



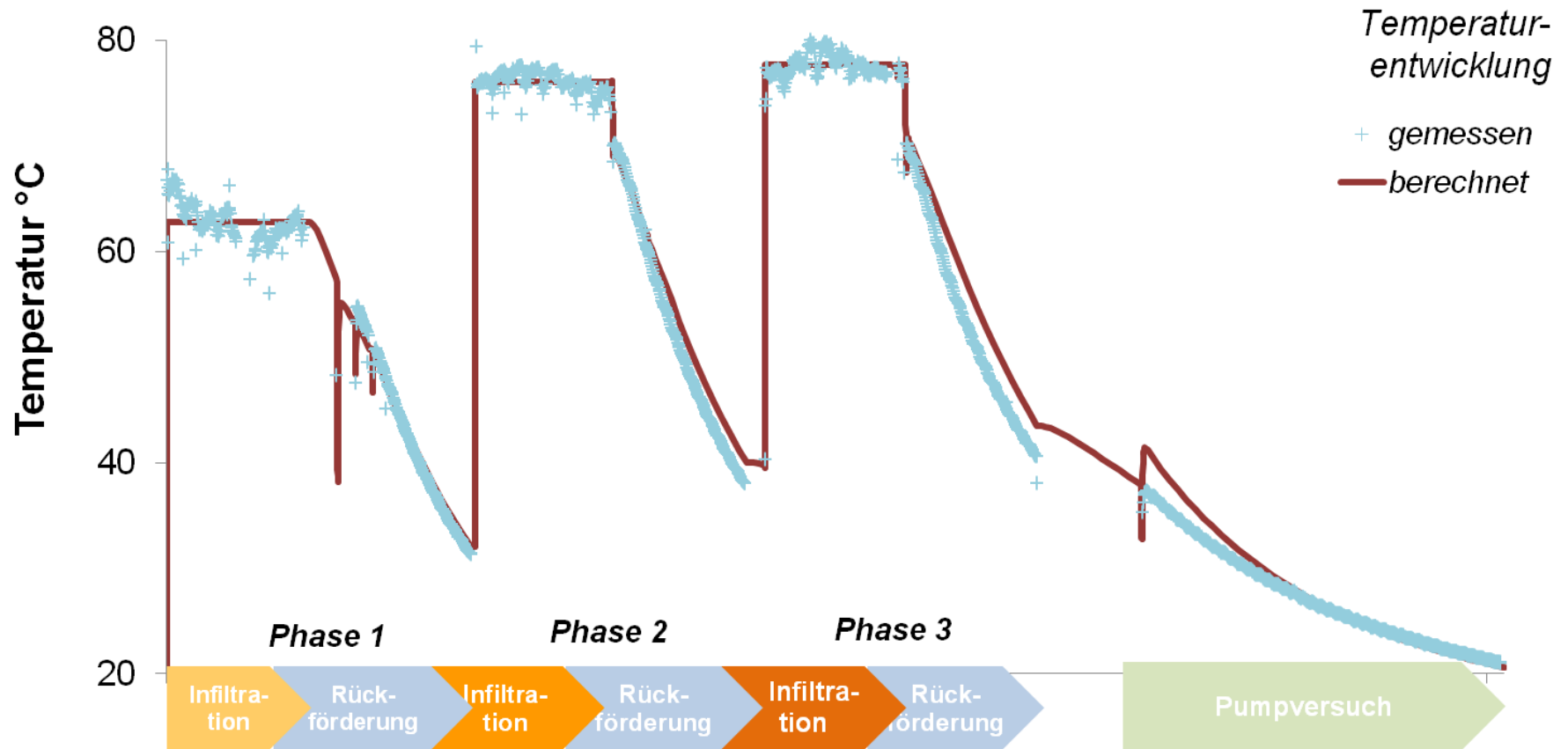
- Halbgenerisches Modell sukzessiv zu einem Standortmodell verfeinert
- FEFLOW 7.1
- 2 x 2 km
38 Layer
ca. 80.000 Modellknoten
- Detaillierte Abbildung des Produktionsbrunnens
- Randbedingungen aus Großraum-Modell des Hamburger Untergrunds

WÄRMETRANSPORTMODELL, MODELLIERTES BRUNNENBAUWERK

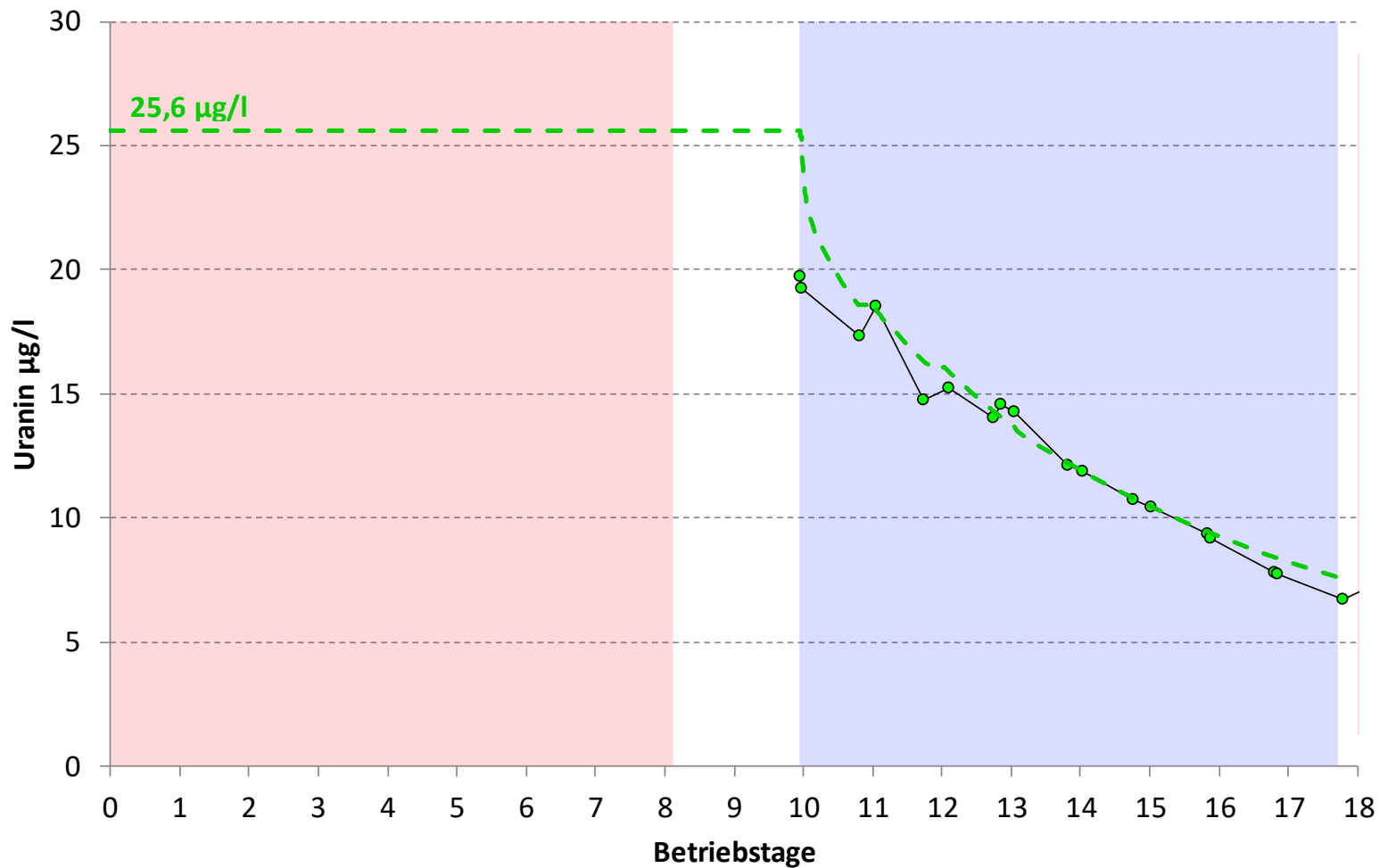


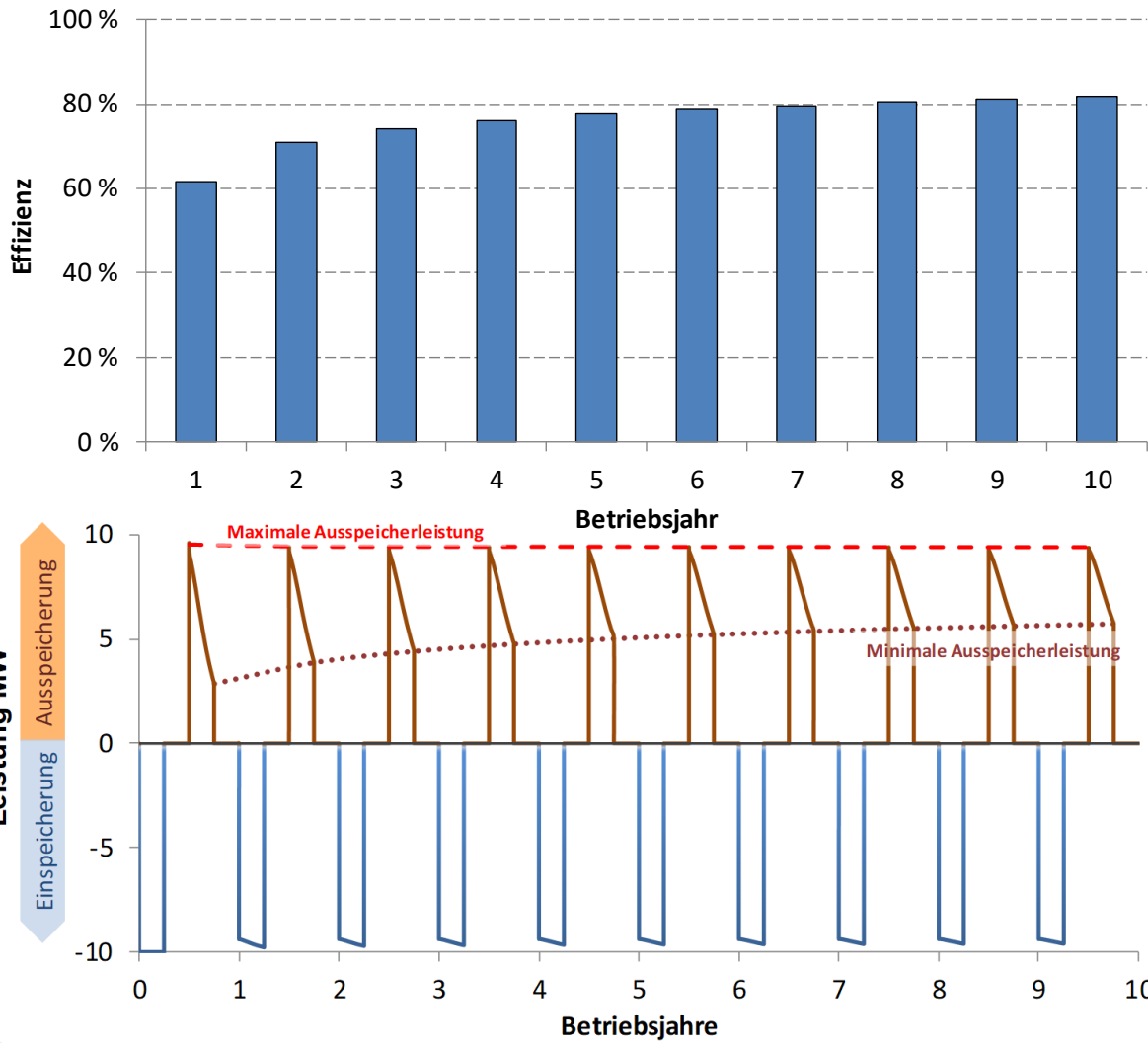
Vom generischen Modell zur standörtlichen Prozesssimulation

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

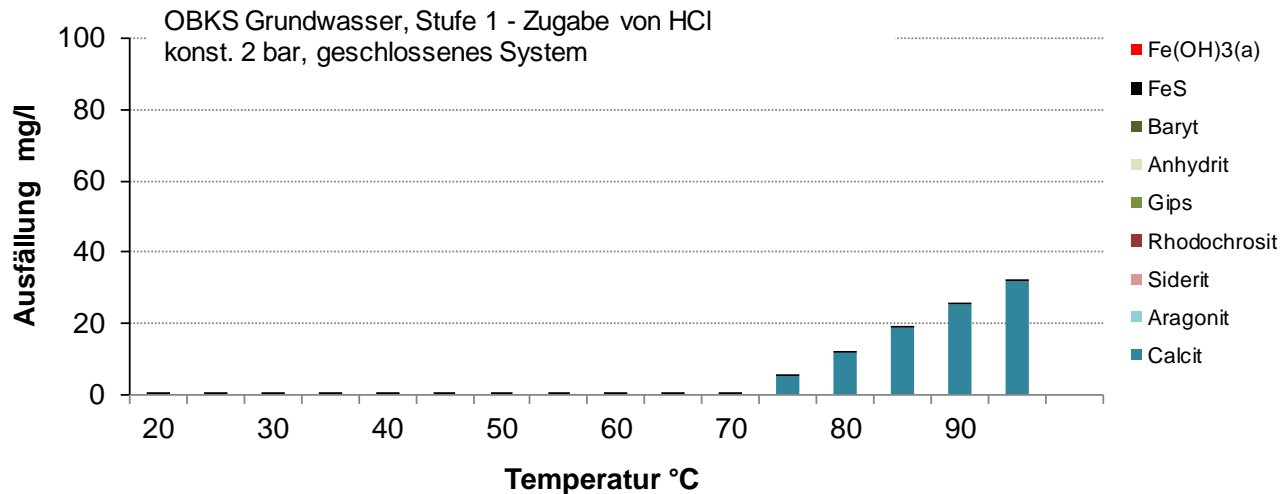
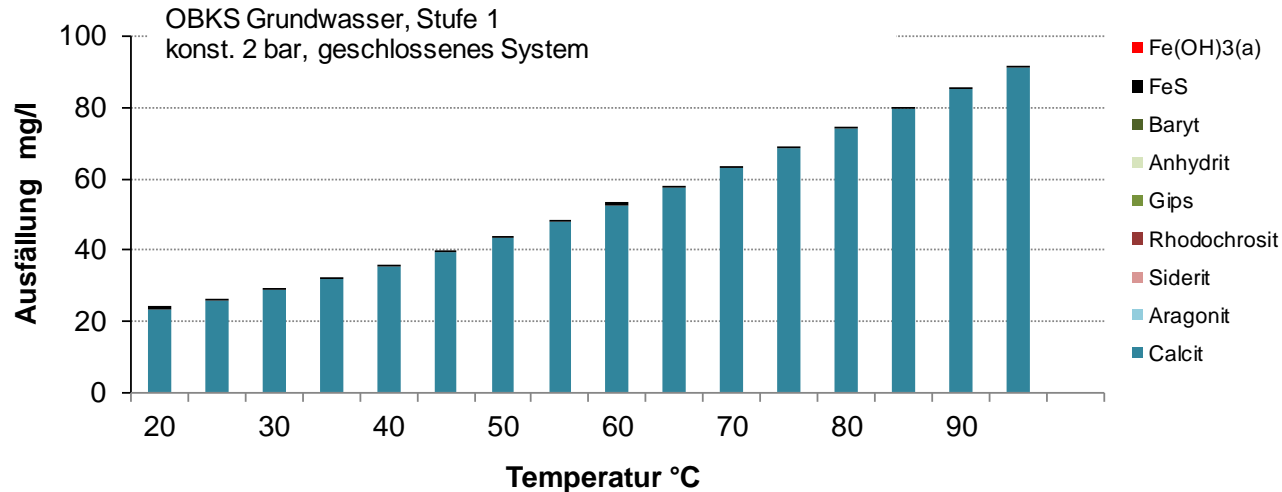




- **Langzeit-Betriebssimulation über 10 Jahre - Beispiel -**
- **Idealisiertes Ein- und Ausspeicher-schema:**

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

RISIKEN - BRUNNENALTERUNG



Hauptrisiko für Anlage und Brunnen: Versinterung

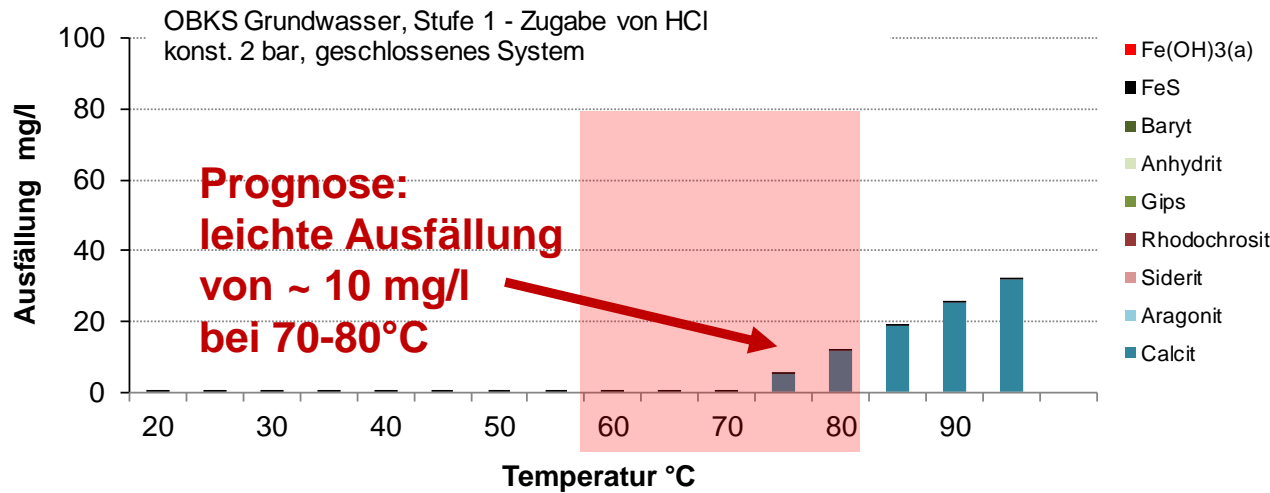
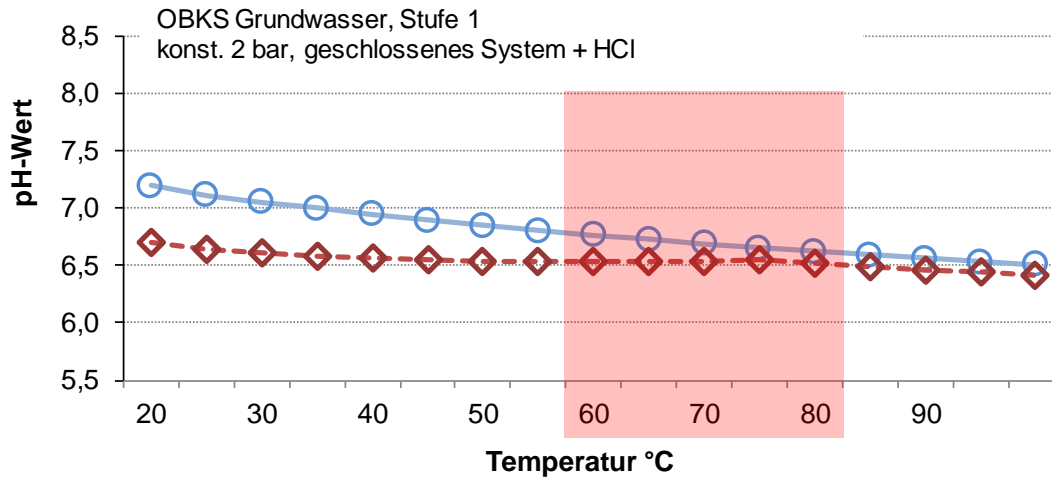
Ursache:

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

Maßnahme:

Ansäuerung vor Aufwärmung

RISIKEN - BRUNNENALTERUNG



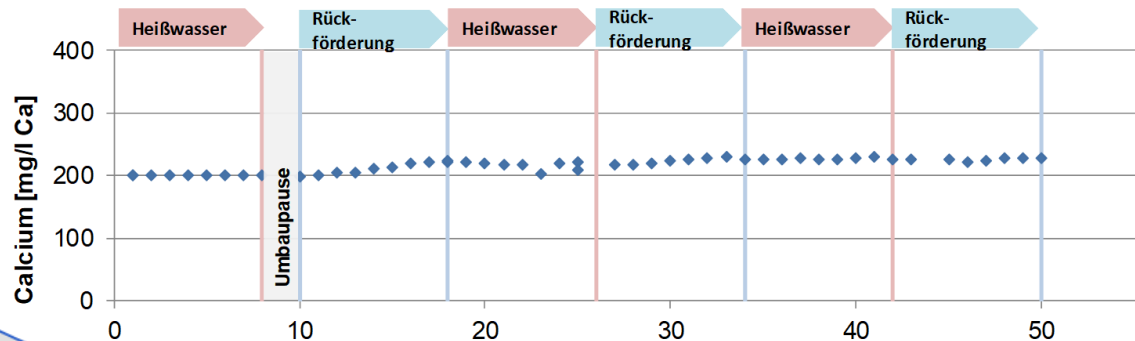
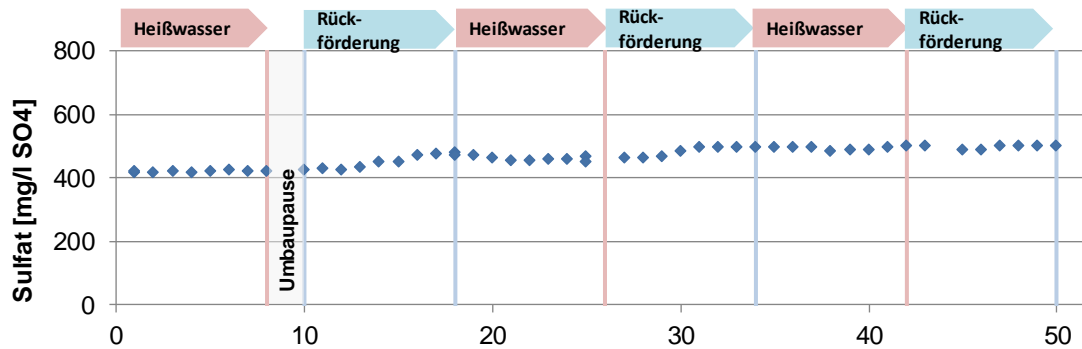
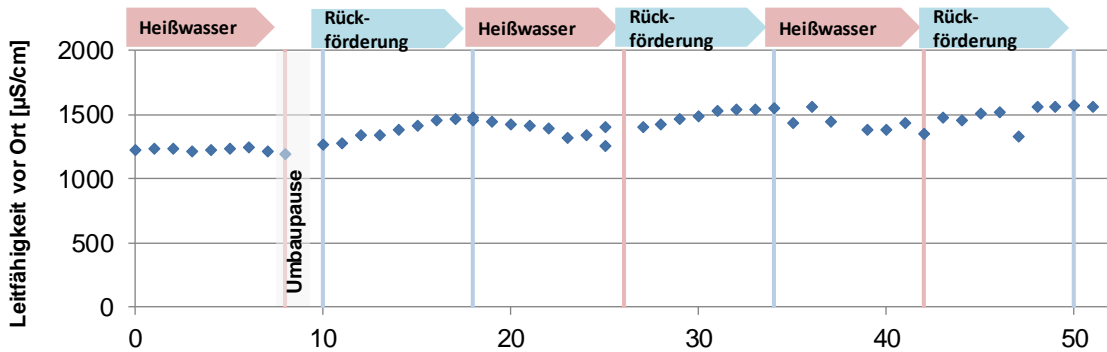
**Temperaturfenster
Heißwasser-Einleitung**

**Hauptrisiko für
Anlage und
Brunnen:
Versinterung**

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

Maßnahme:
Ansäuerung vor
Aufwärmung

WASSERBESCHAFFENHEIT (HAUPTINHALTSTOFFE)



Leitfähigkeit

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

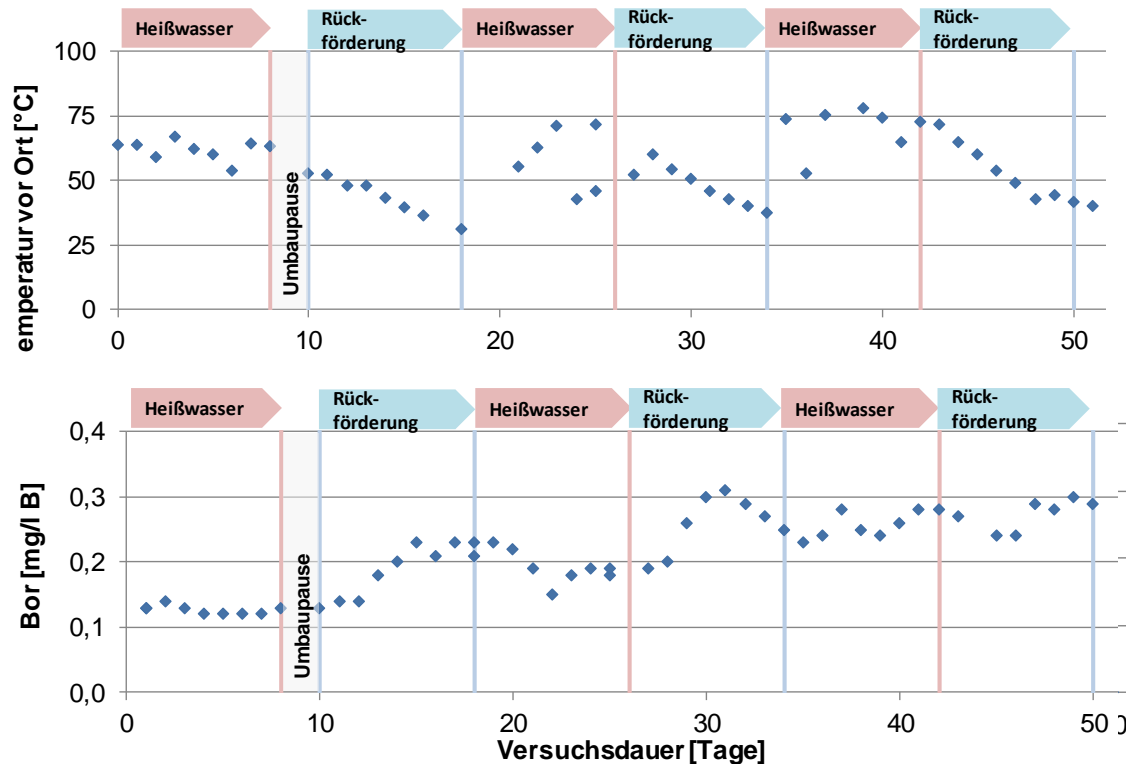
Leitfähigkeitsentwicklung spiegelt den Anstieg der Hauptinhaltsstoffe wieder

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

Sulfat: : 400 → 500 mg/l
Ca-SO₄-Typ Wasser aus dem OBKS – TOP

Calcium: 200 → 230 mg/l
Ca-SO₄-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

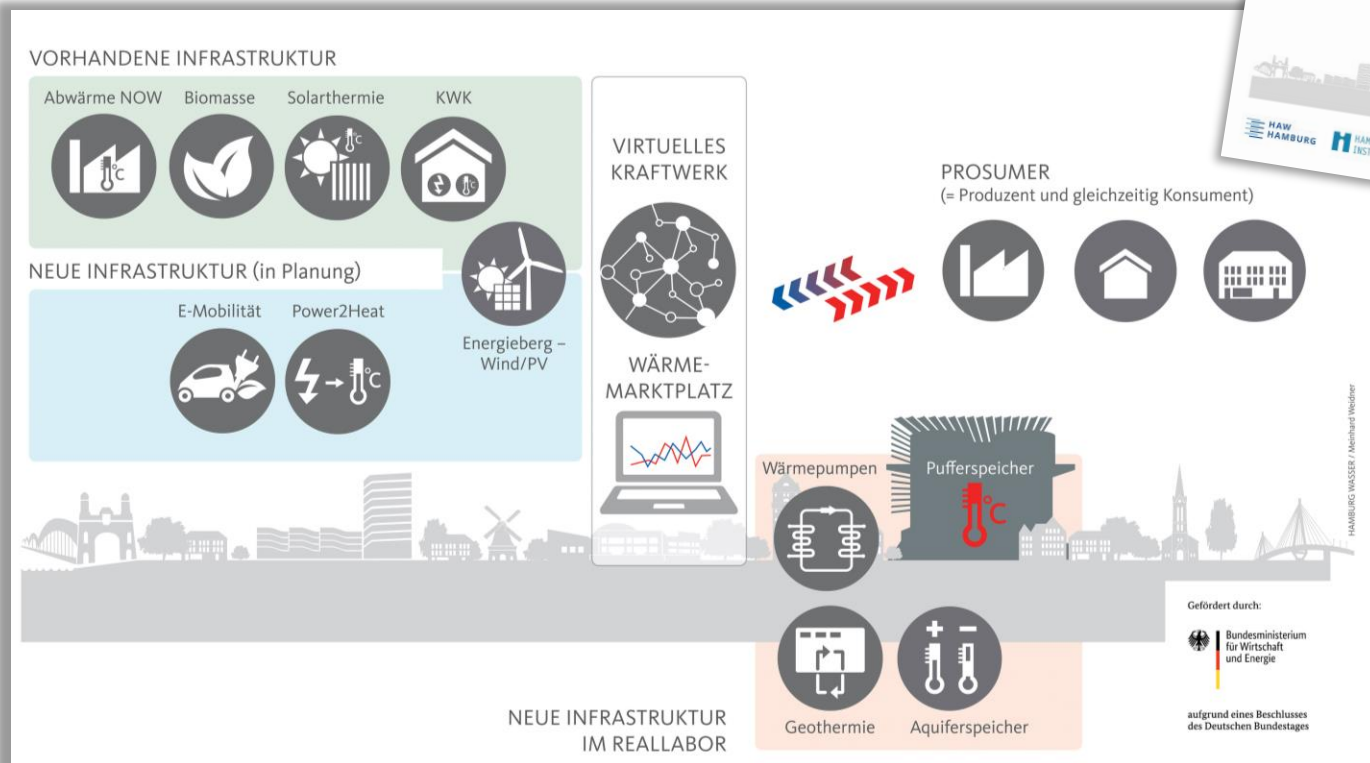
Anstieg im Verlauf des Versuchs

Zumischung höher salinarer Wässer

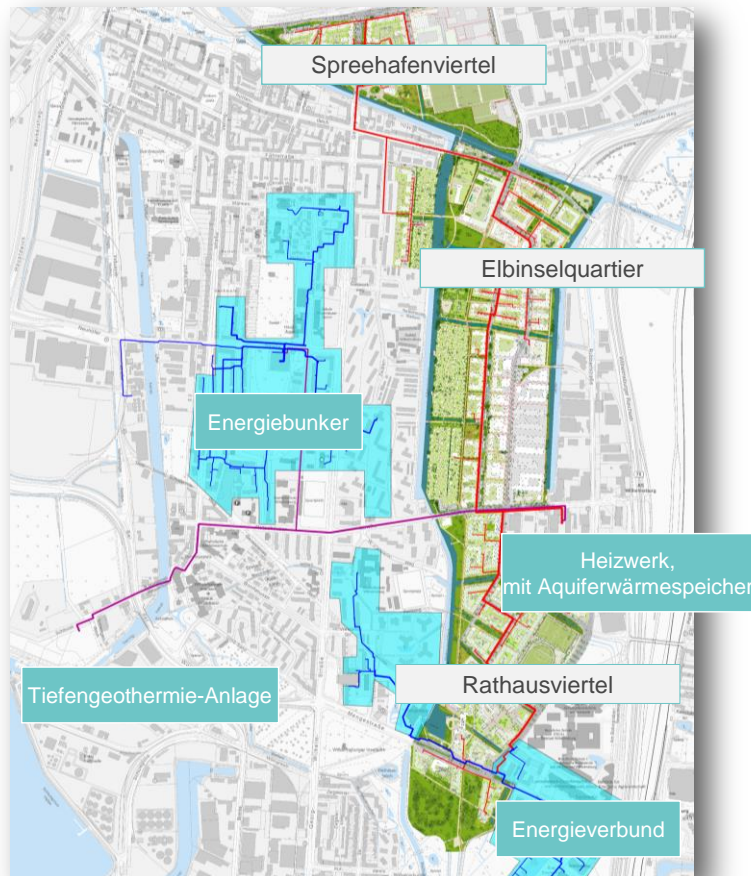
- Der Pilotversuch belegt die Machbarkeit einer saisonalen Wärmespeicherung an einem Standort im tieferen Untergrund der FHH
- Monitoring des Pilotversuch hat die erforderlichen Grundlagen für den Aufbau numerischer Modelle (Wärmetransportmodelle und chemische Stofftransportmodelle) geliefert
- Prozesssimulationen 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

IW³ - EIN REALLABOR DER ENERGIEWENDE

- **IW³ - Integrierte Wärmewende Wilhelmsburg**
mit dem Reallabor IW³ wurde ein Gesamtkonzept erarbeitet, das für Aufmerksamkeit auf Bundesebene gesorgt hat

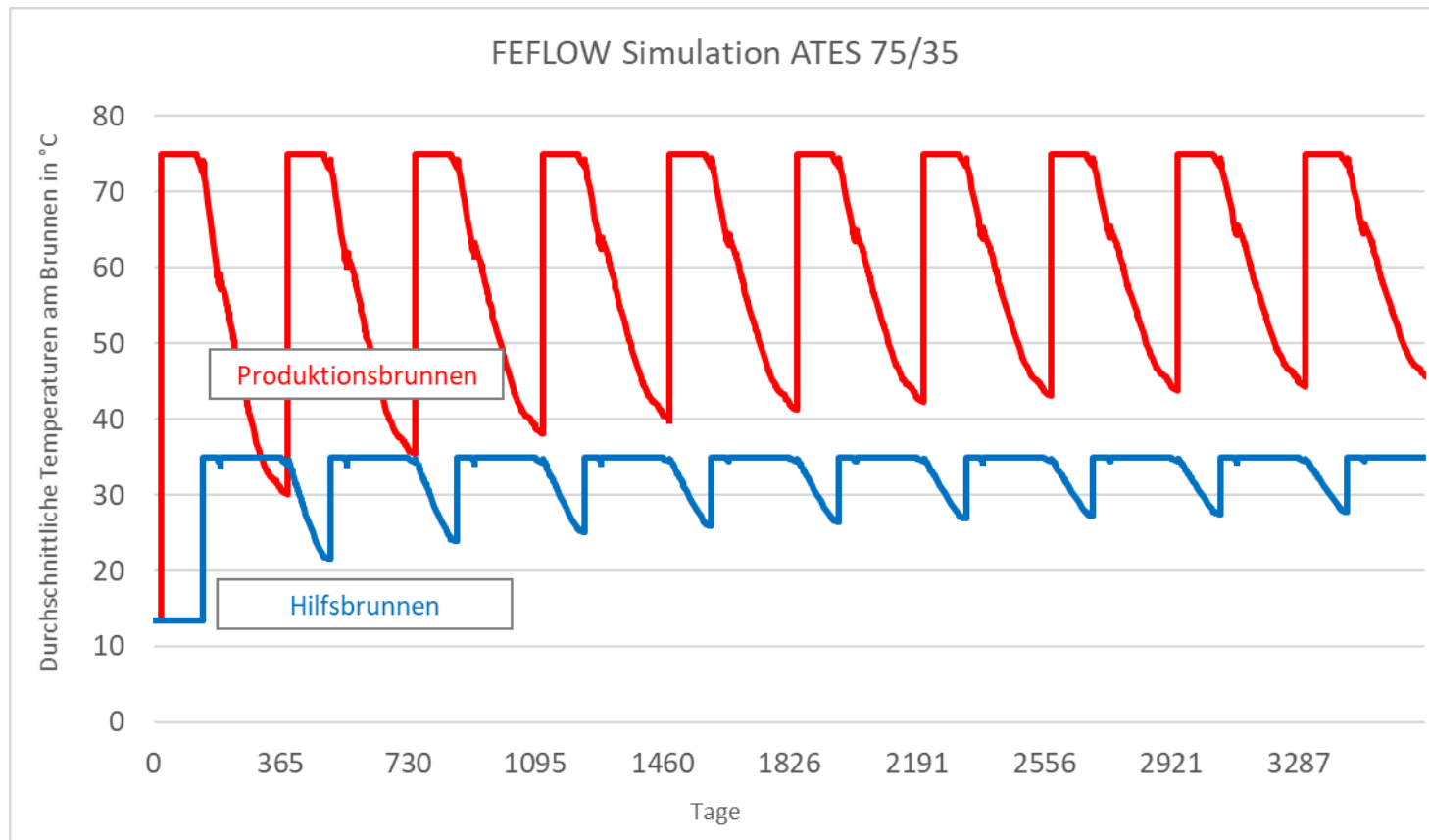


ERNEUERBARE WÄRMEVERSORGUNG HH- WILHELMSBURG

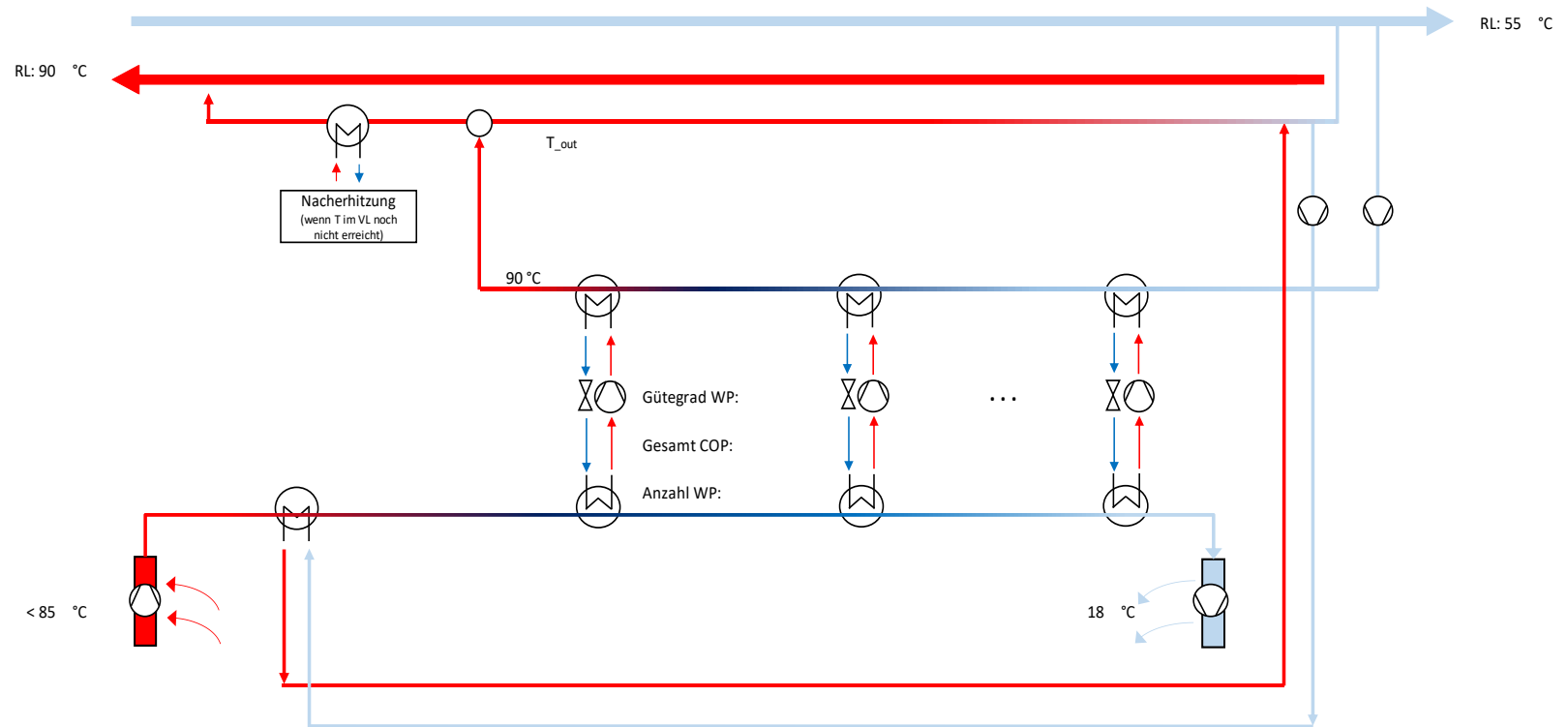


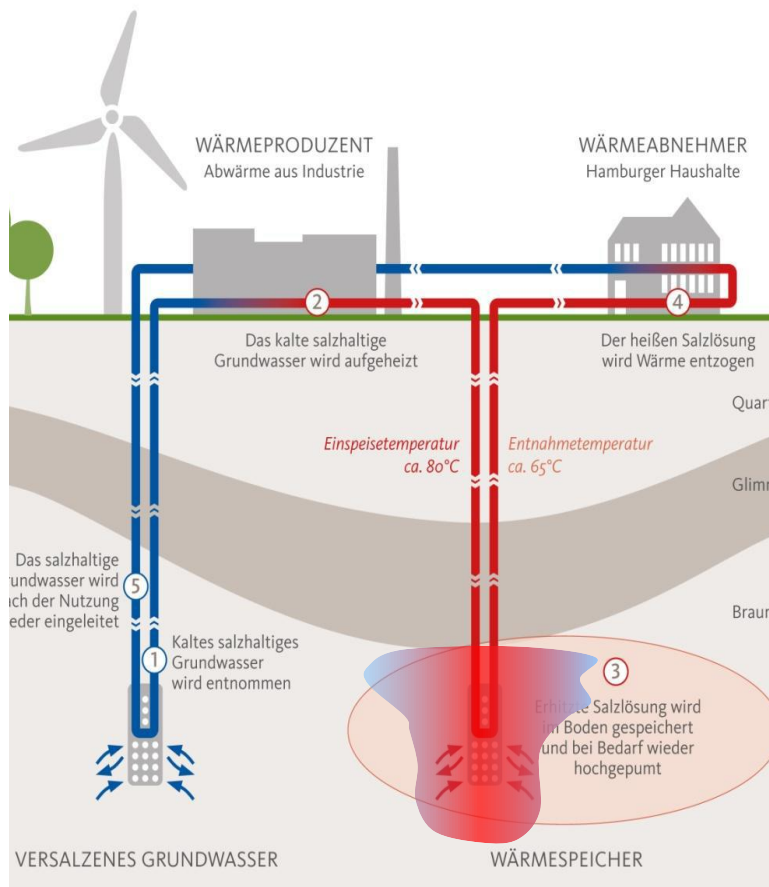
- **Sukzessive Erschließung der IBA-Neubauquartier**
Versorgung von > 5.000 Wohneinheiten im Endausbau
Potential für den Anschluss weiterer Objekte vorhanden
- **Geothermie als Basis der regenerativen Wärmeversorgung**
Verfügbare Leistung > 10 MW • Wärmearbeit ≥ 75 GWh/a
- **Saisonaler Aquiferspeicher zur weiteren Erhöhung des regenerativen Versorgungsanteils in Wilhelmsburg**
- **Errichtung eines Wärmeverbundnetzes zur Versorgung der Wilhelmsburger Quartiere**
- **Die Wärmeversorgung erfüllt höchste ökologische Anforderungen**
Primärenergiefaktor $\leq 0,2$ • CO₂-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



Ein Unternehmen von HAMBURG WASSER