

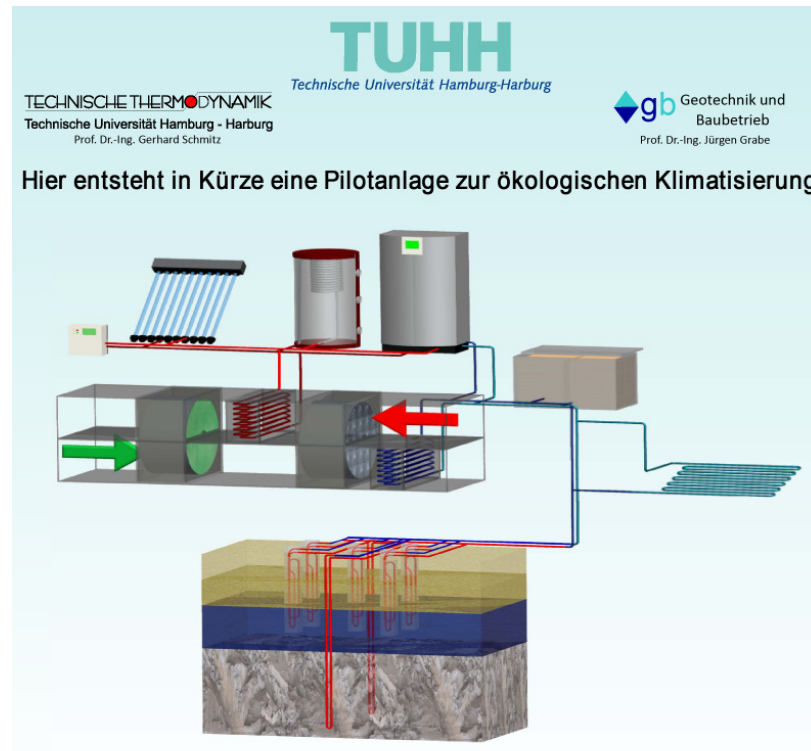
Sorptionsgestützte Klimatisierung bei Nutzung der oberflächennahen Geothermie

Anlagenkonzept

Dipl.-Ing. Jan Wrobel
Institut für Thermofluidodynamik
Technische Thermodynamik

Dipl.-Ing. Xiaolong Ma
Institut für Geotechnik und Baubetrieb

Bauschild zum Projekt „Sorptionsgestützte Klimatisierung bei Nutzung oberflächennaher Geothermie“



Hier entsteht in Kürze eine Pilotanlage zur ökologischen Klimatisierung

Mit freundlicher Unterstützung von:

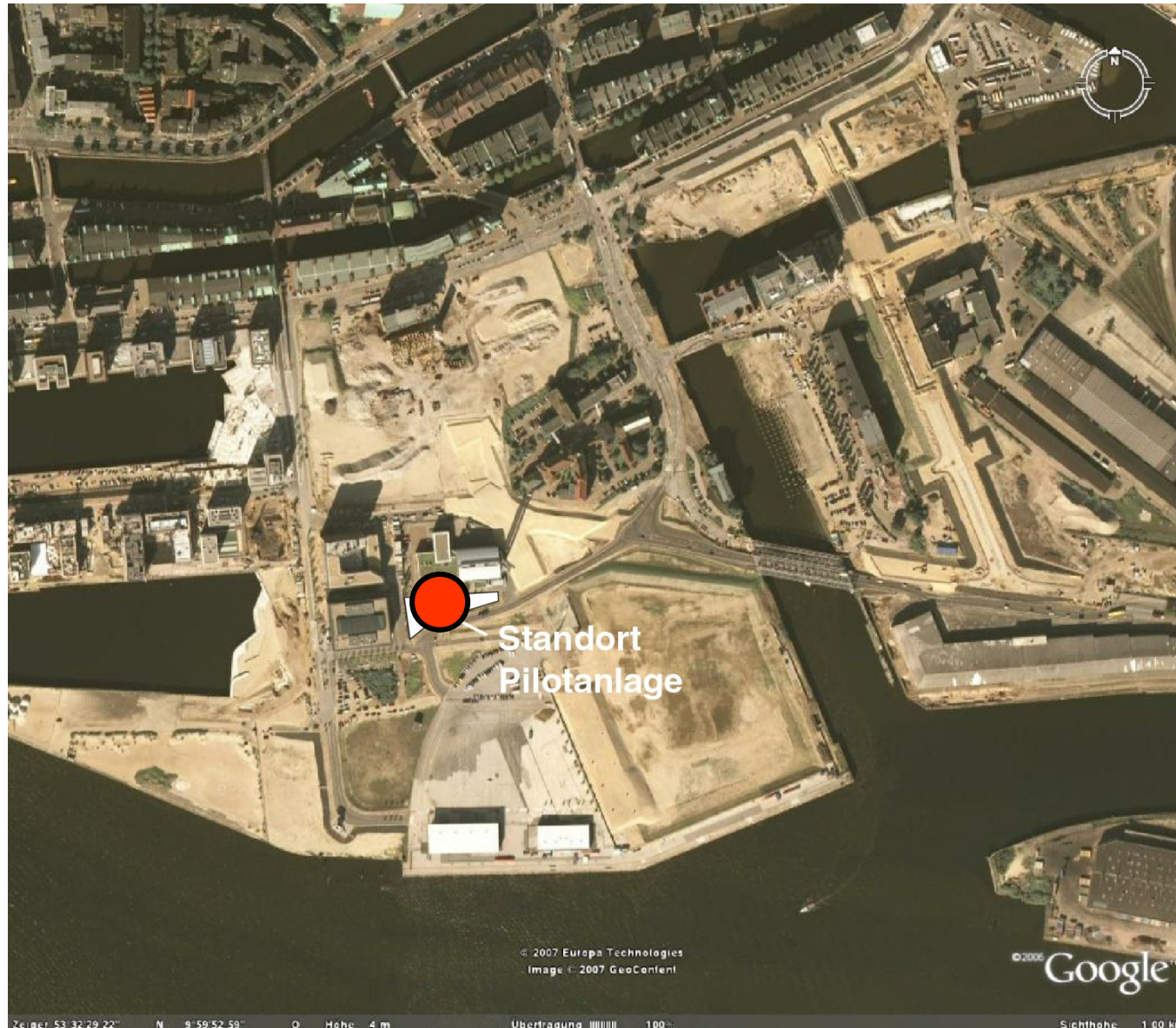


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



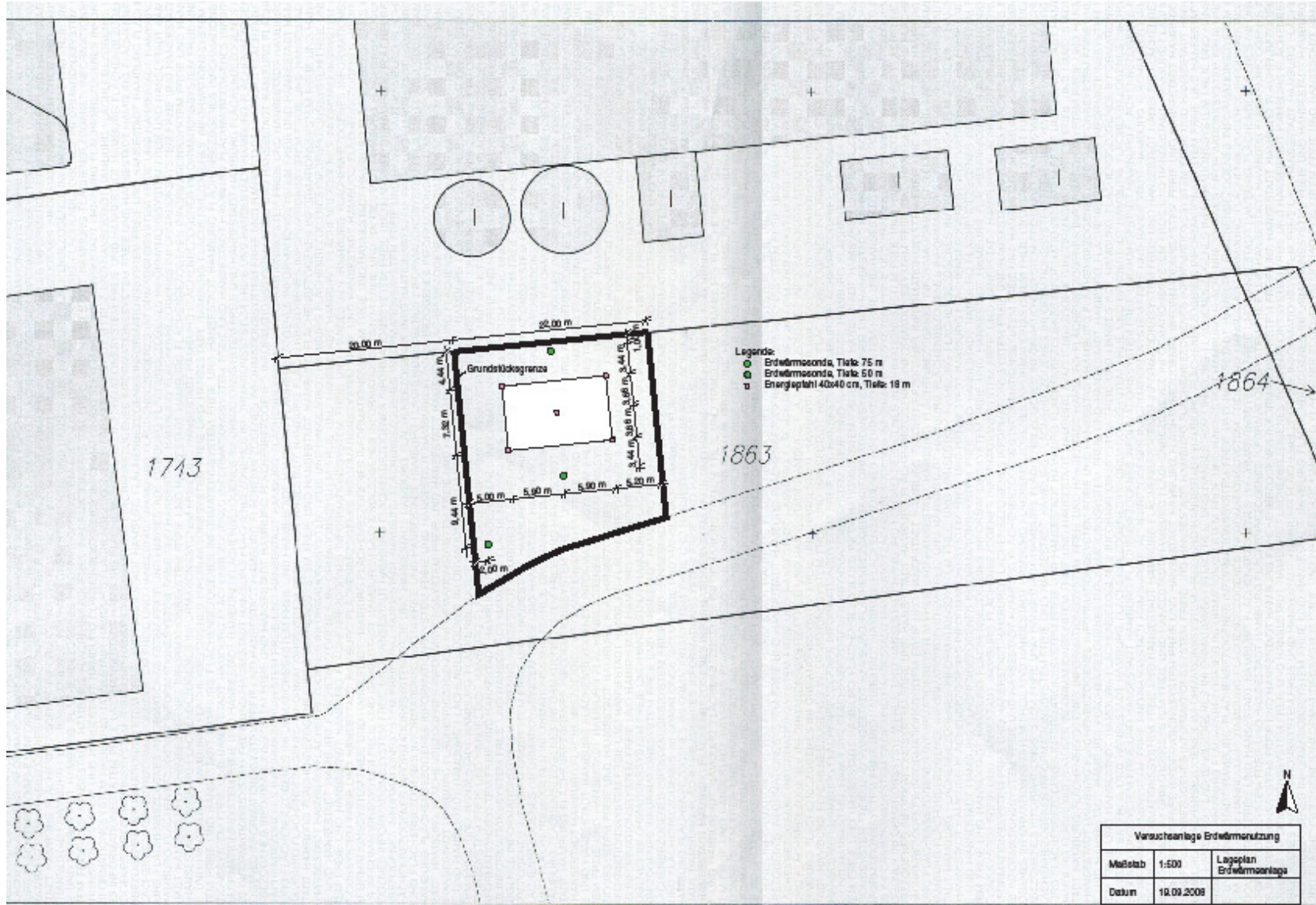
Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Wissenschaft und Forschung

Standort der Pilotanlage in der HafenCity Hamburg



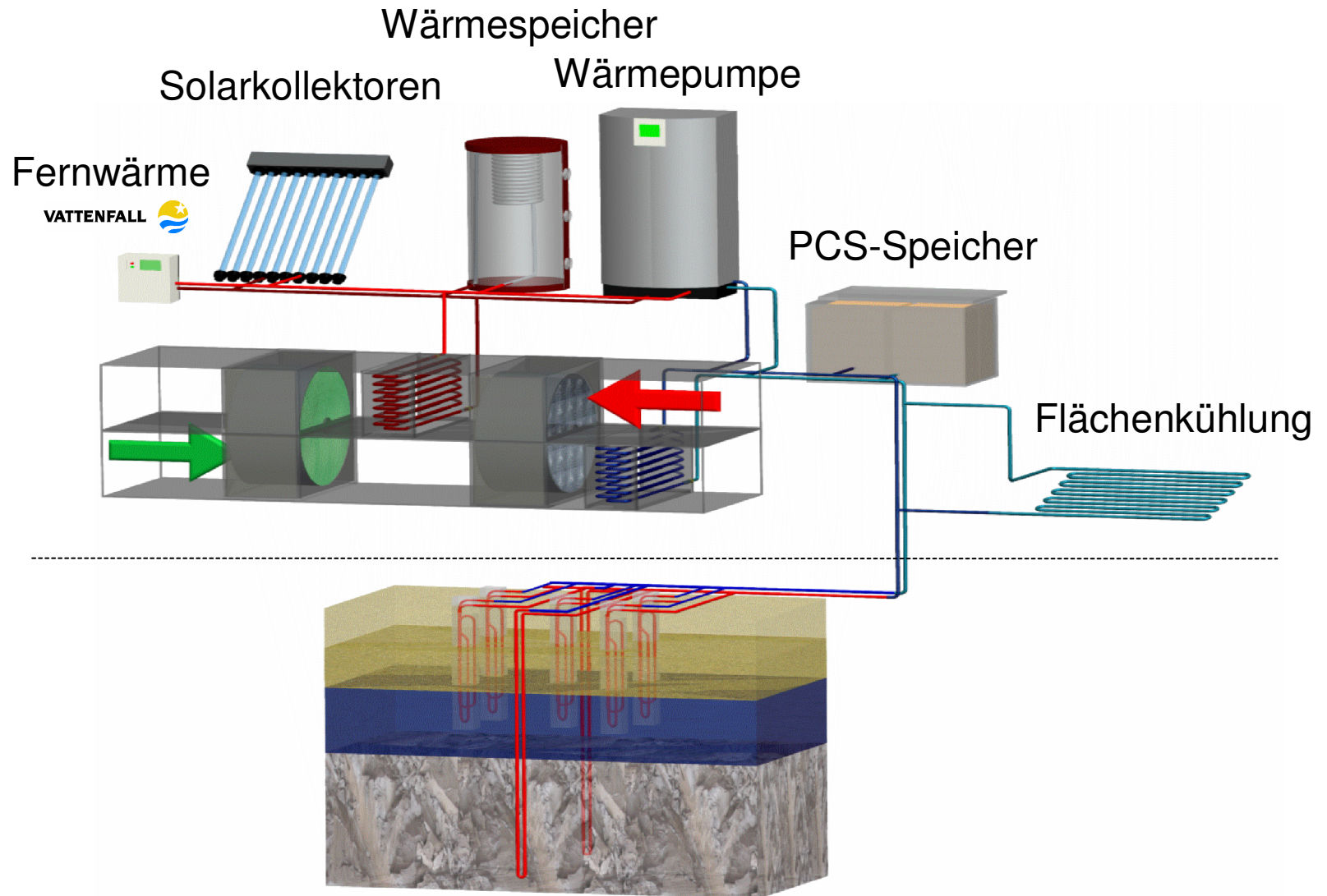
1 Standort

Standort der Pilotanlage in der HafenCity Hamburg



2 Konzept Klimaanlagen

2 Konzept Klimaanlage



Konzept Klimaanlage

Randbedingungen:

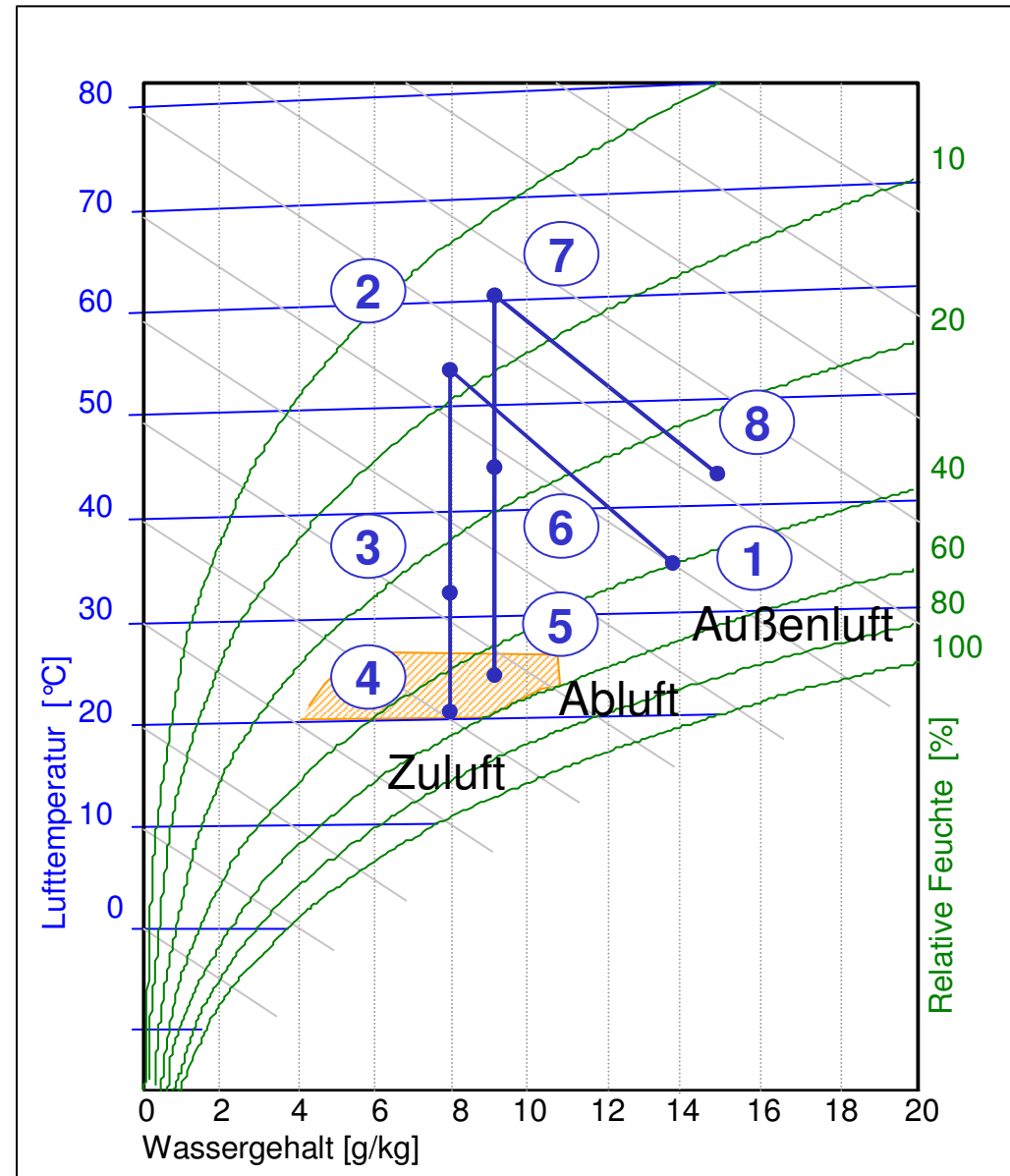
$$\dot{V} = 2000 \text{ m}^3/\text{h (ZL)}$$

$$t_{AL} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x_{AL} = 14 \text{ g/kg}$$

$$t_{ZL} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$x_{ZL} = 8 \text{ g/kg}$$



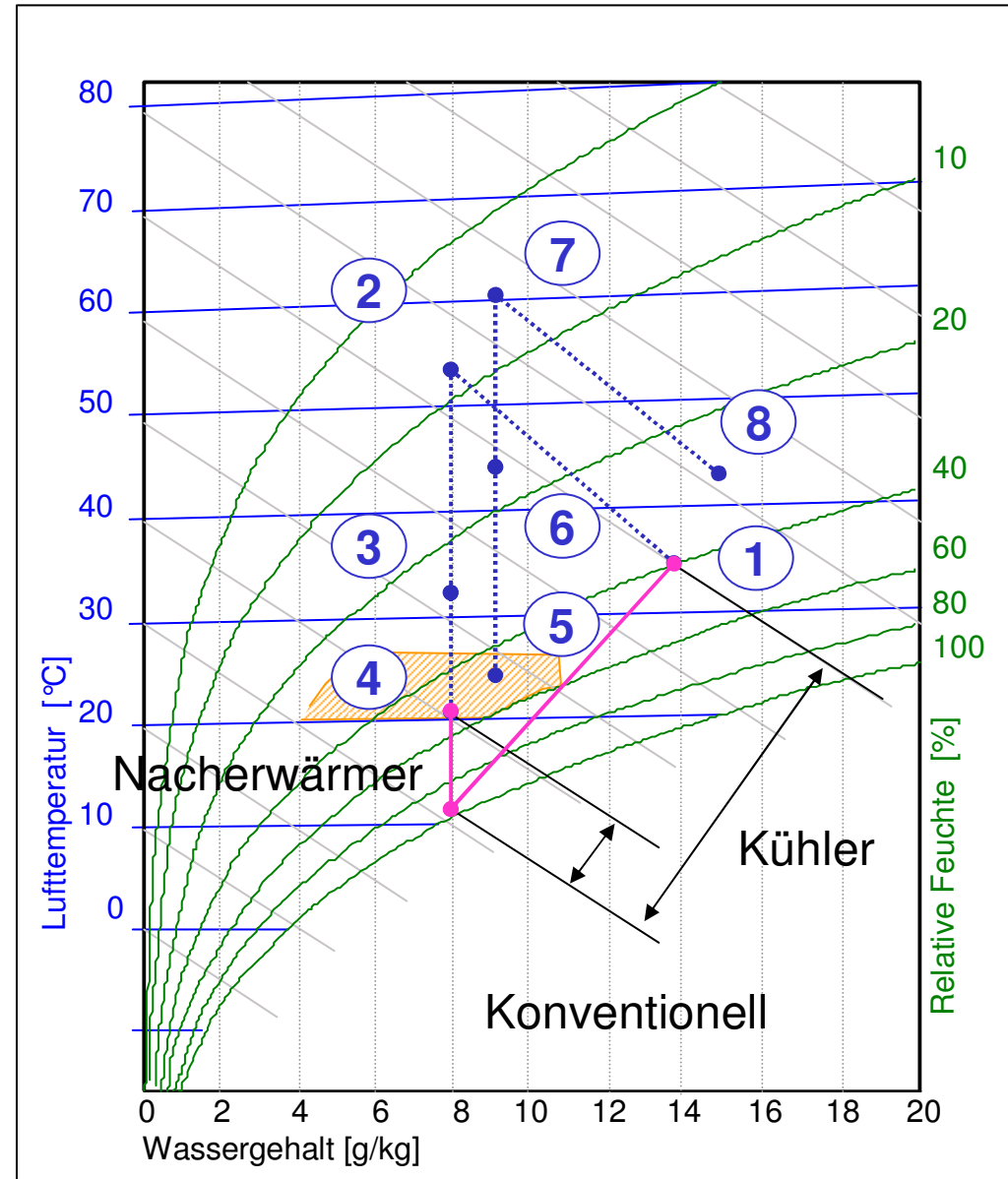
Konzept Klimaanlage

konventionell:

Kühlerleistung: 25,3 kW

Heizleistung: 5,3 kW

Gesamt: 30,6 kW



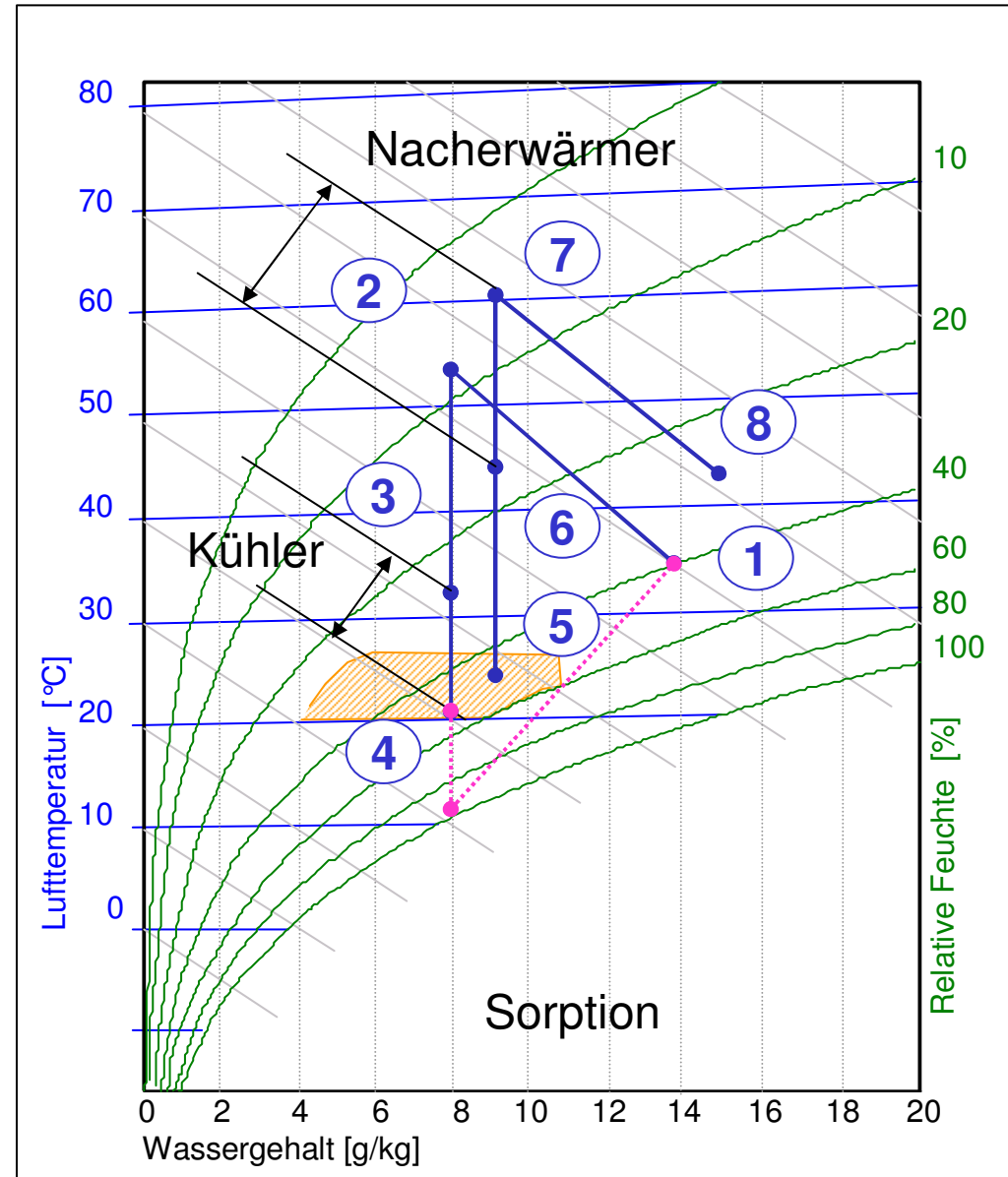
Konzept Klimaanlage

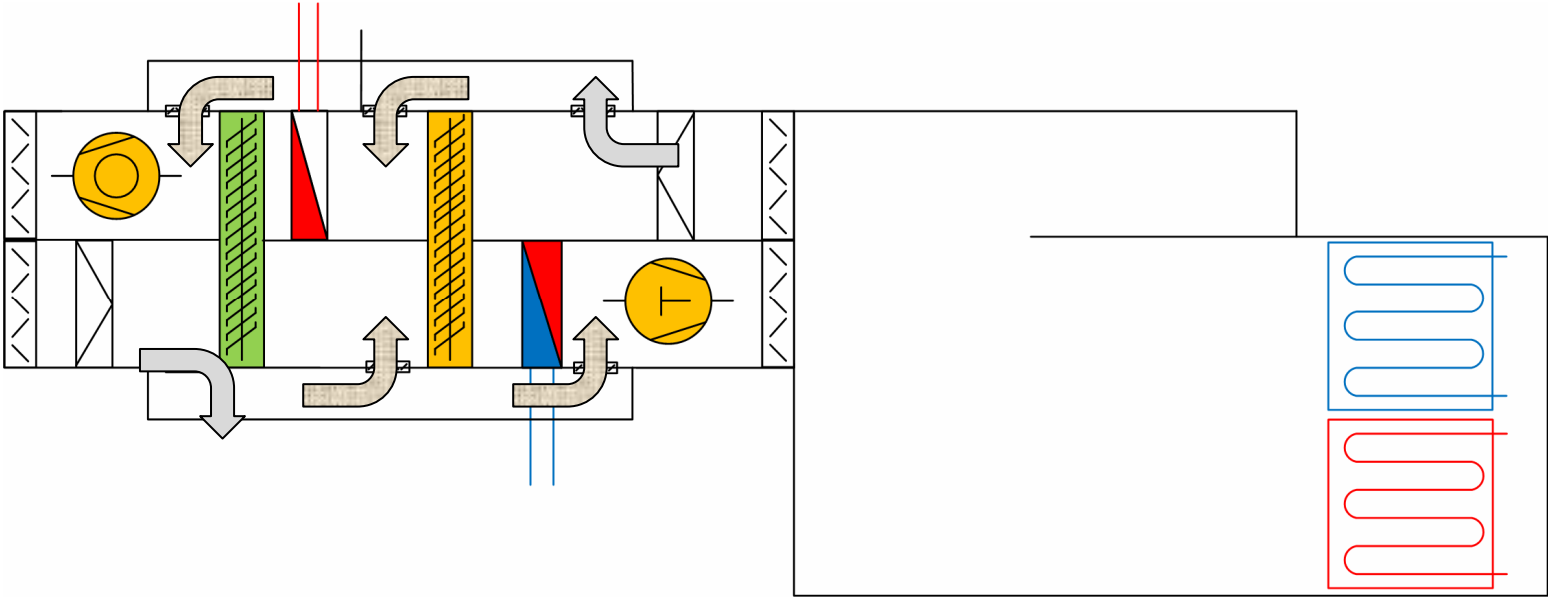
konventionell:

Kühlerleistung: 25,3 kW
 Heizleistung: 5,3 kW
 Gesamt: 30,6 kW

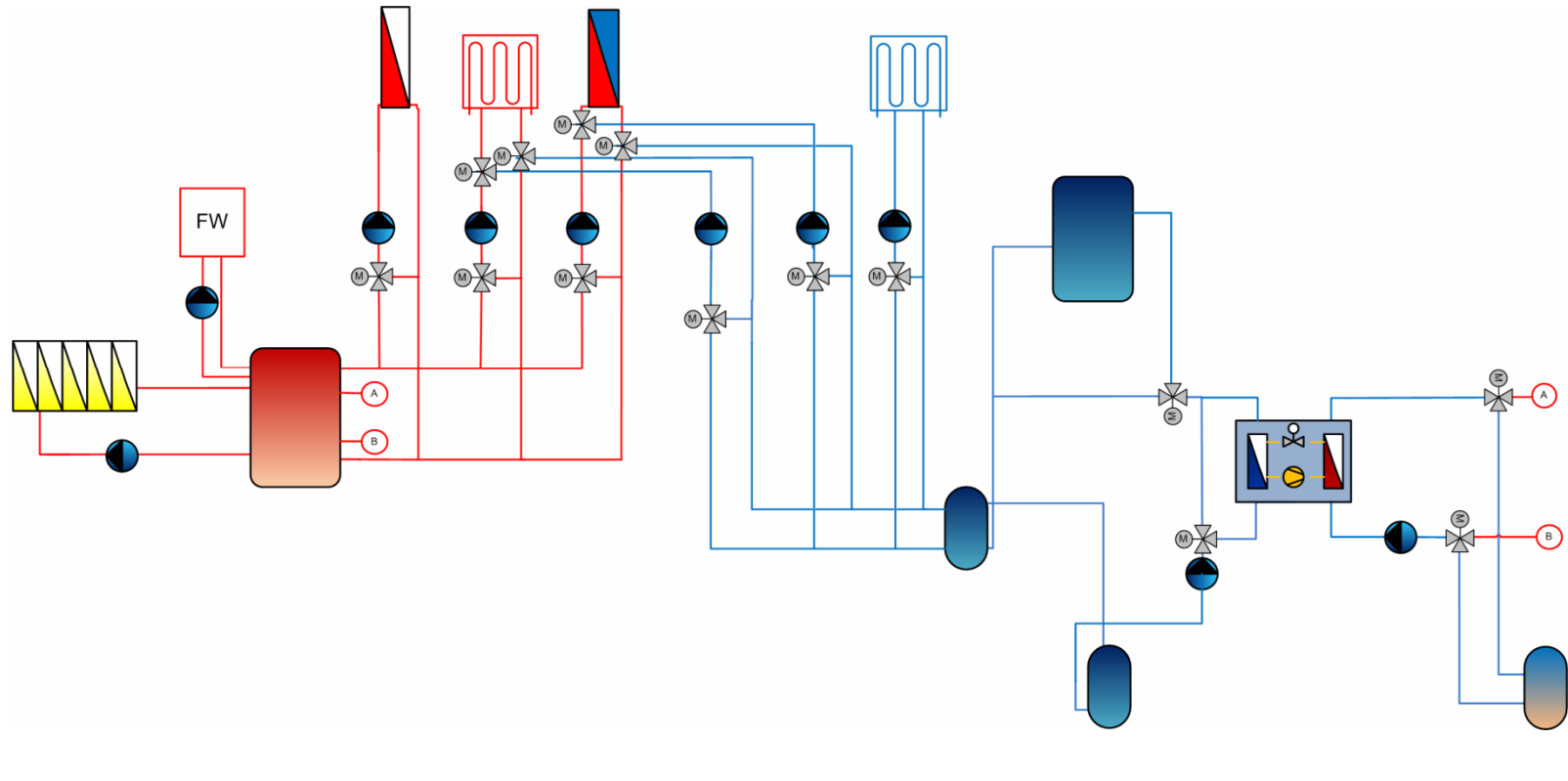
Sorption:

Kühlerleistung: 8,8 kW
 Heizleistung: 9,6 kW
 Gesamtleistung: 18,4 kW



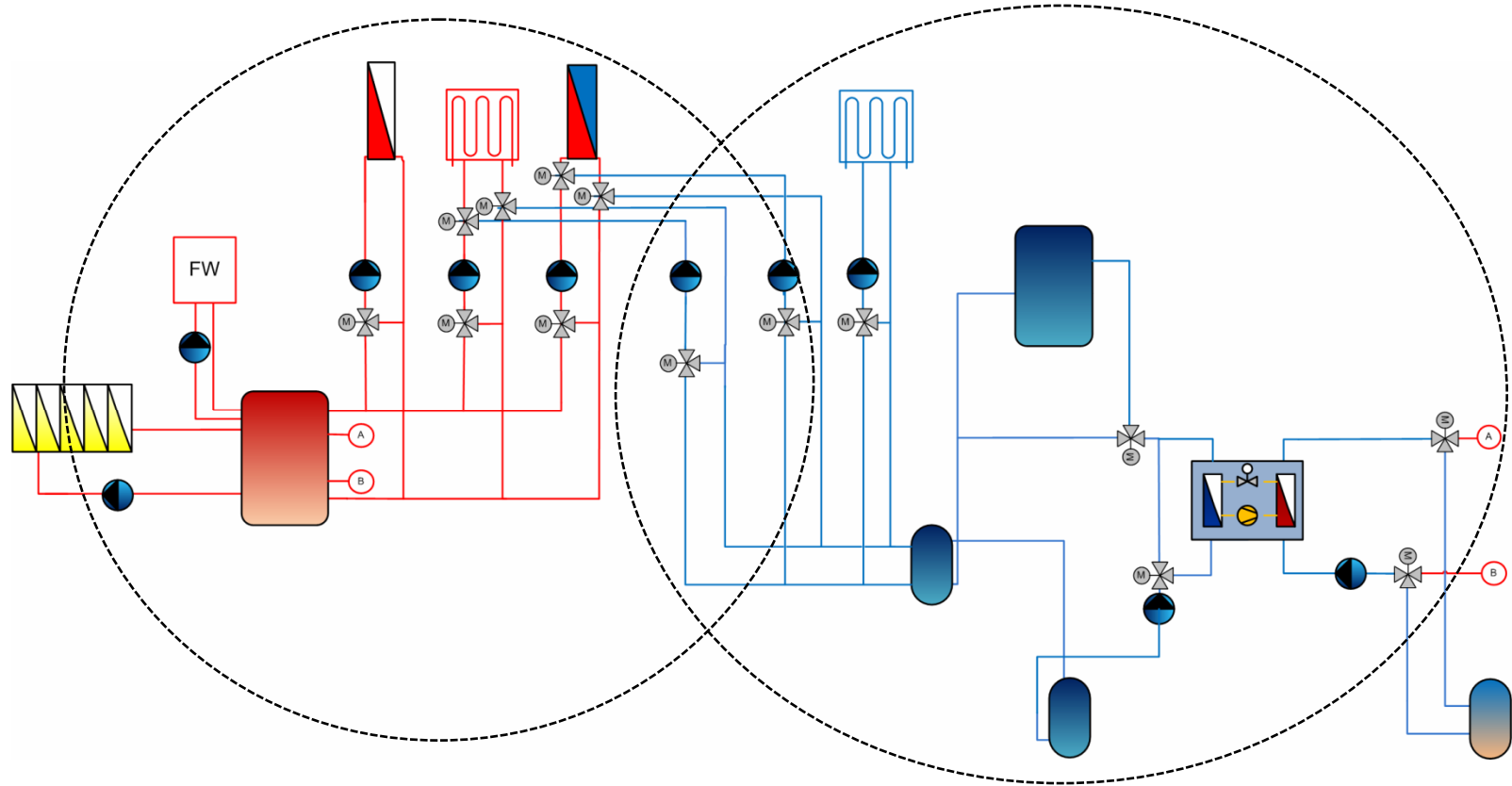


Konzept Klimaanlage



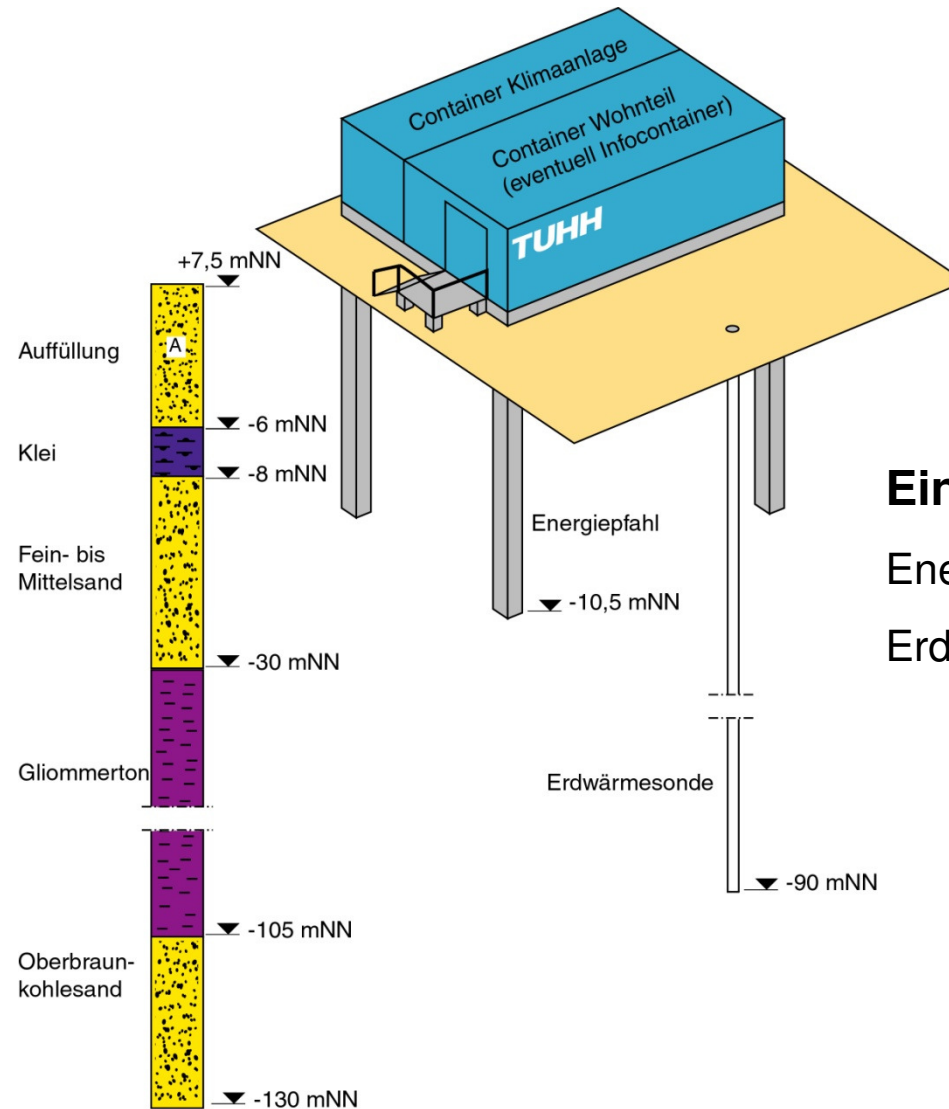
Erdsonden / Energiepfähle

Konzept Klimaanlage



Erdsonden / Energiepfähle

Konzept Erdwärmeanlage



Einbringverfahren:

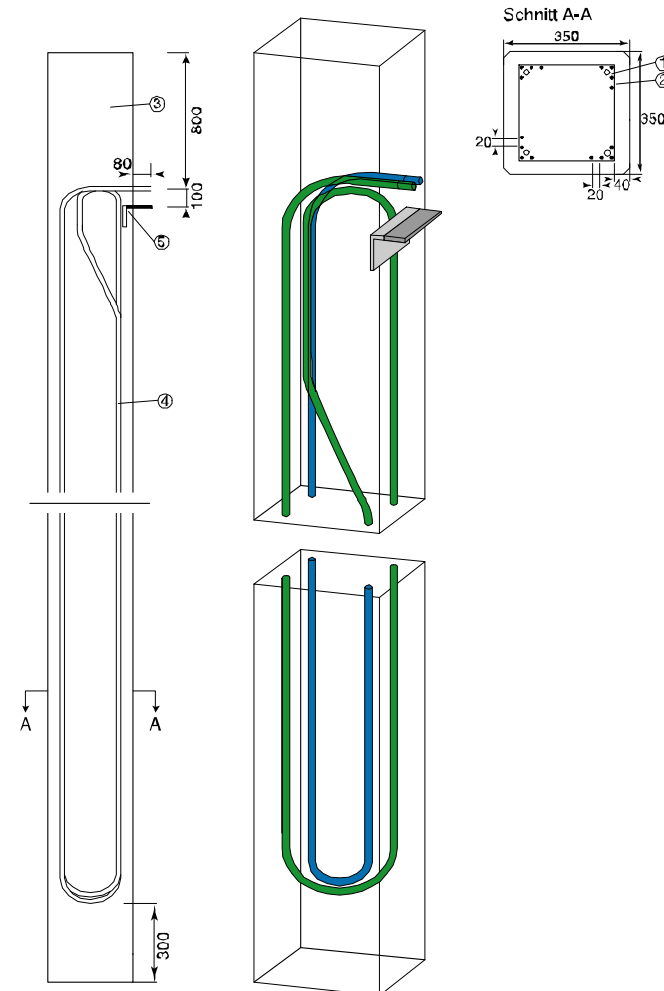
Energiepfähle: Rammen

Erdwärmesonden: Bohren

Energiepfähle

Wenn Pfähle statisch erforderlich sind, können sie mit geringem Aufwand geothermisch aktiviert werden (Energiepfähle):

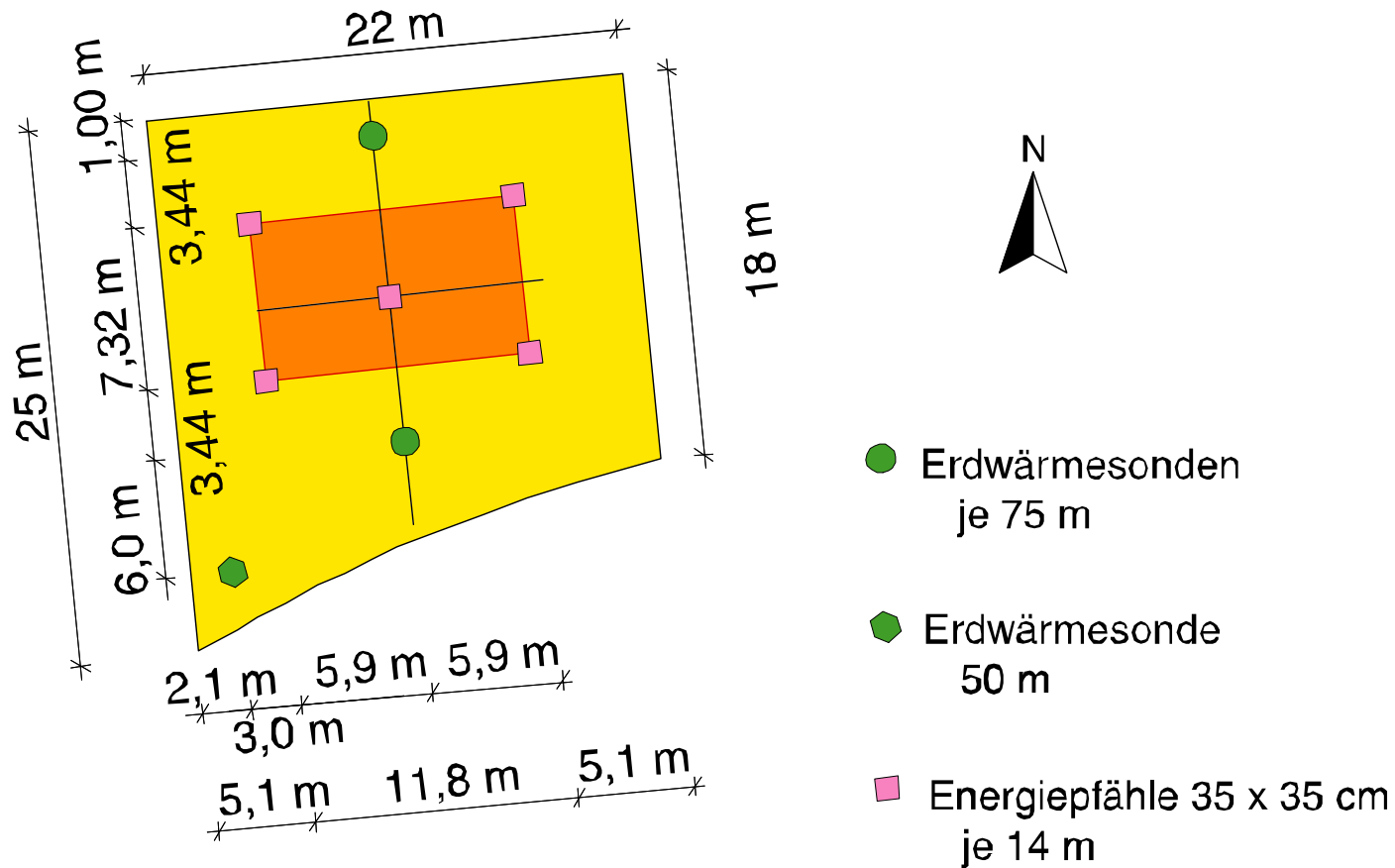
- + Kein zusätzlicher Flächenbedarf
- + Niedrige Herstellungskosten
- Die Anordnung ist nicht beliebig



Randbedingungen für Erdwärmennutzung in der Hafencity

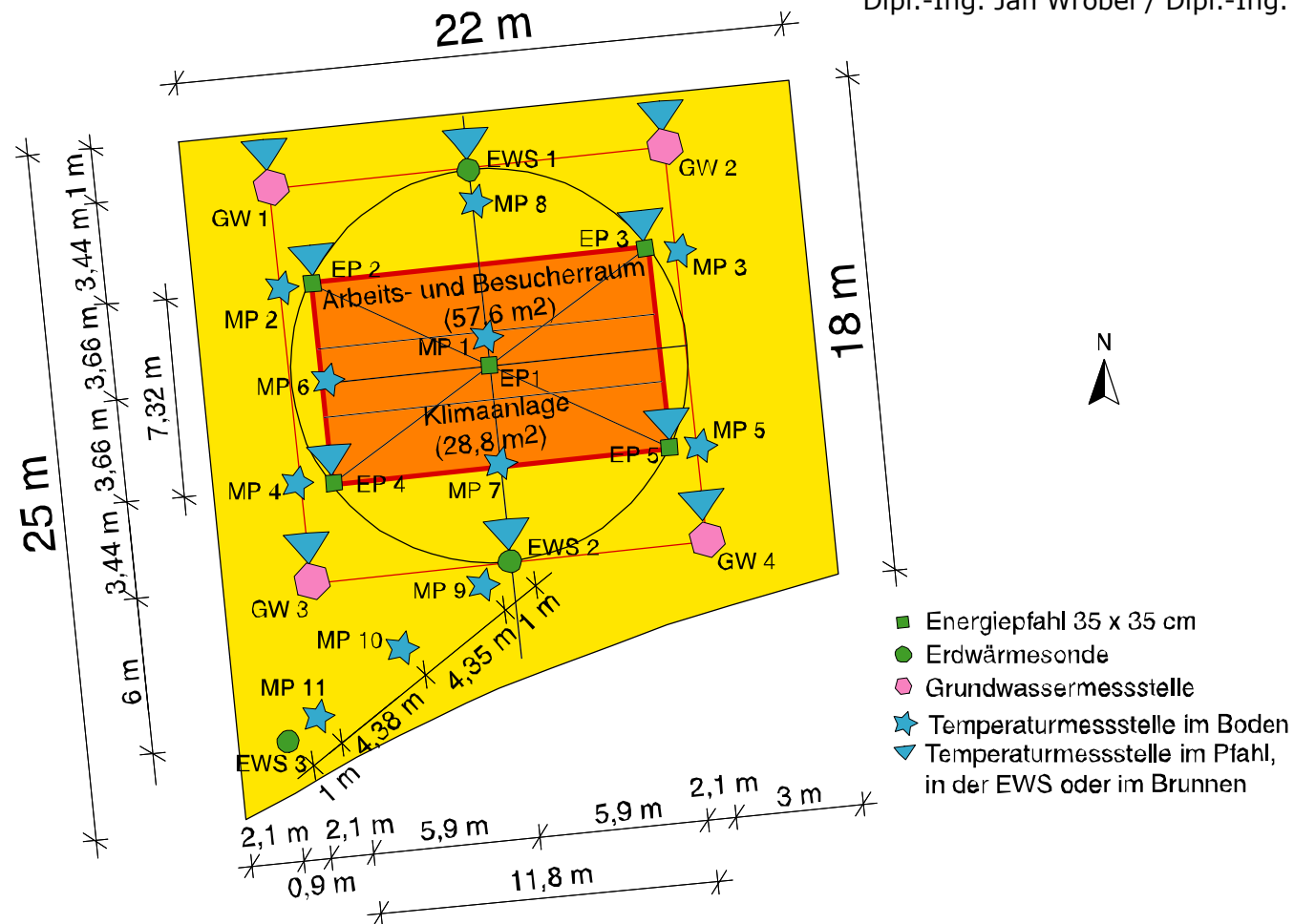
- **Untergrundtemperatur:**
 - ▶ ab 5 Meter Tiefe 9-11 ° C
- **Grundwasser**
 - ▶ keine nennenswerte Grundwasserströmung
- **Untergrundaufbau**
 - ▶ nicht tragfähige Auffüllung- und Schlick-/Kleischichten
- **Thermodynamische Bodeneigenschaften**
 - ▶ abgeschätzt nach Erfahrungswerten

Geplante Erdwärme- und Messanlage



Erdwärmeanlage: 5 × Energiepfähle à 14 m
 3 × Erdwärmesonden à 100 m

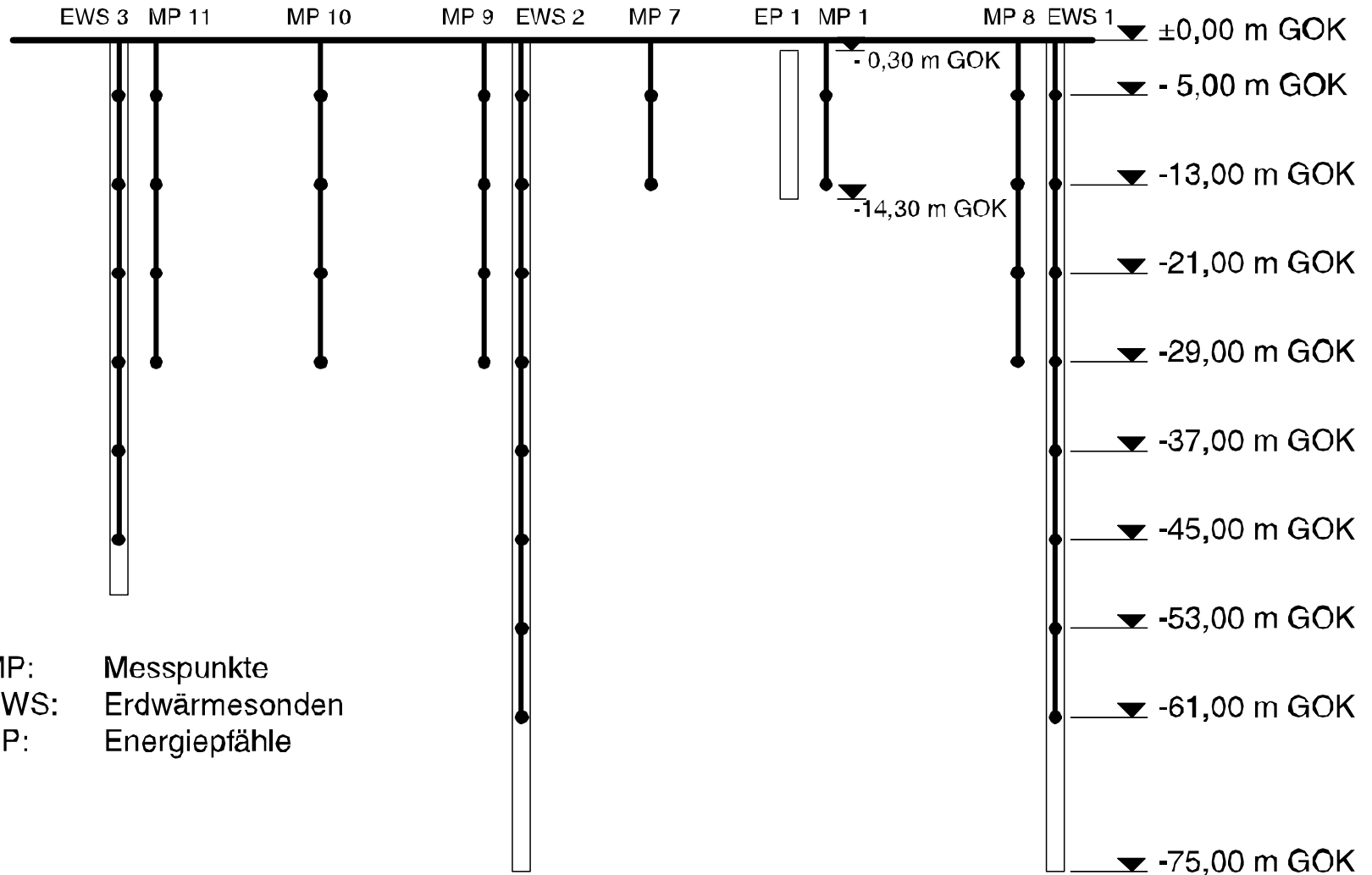
Konzept Erdwärmeanlage



- Messanlage im Erdreich:**
- 4 × Grundwassermessstellen
 - 11 × Temperaturmessstellen mit insgesamt 26
Temperaturgeber, bis 29 unter GOK
 - 16 × Temperaturgeber in 4 Pfählen
 - 24 × Temperaturgeber in 3 Erdwärmesonden

Schnitt A-A: Temperaturmessgeber

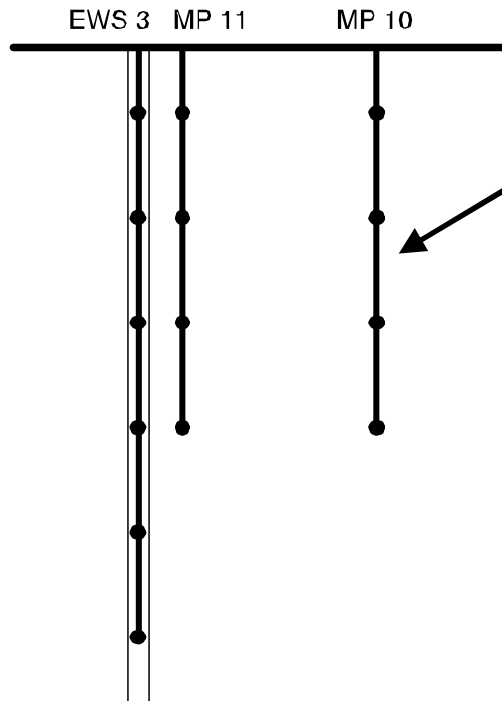
Schnitt A-A



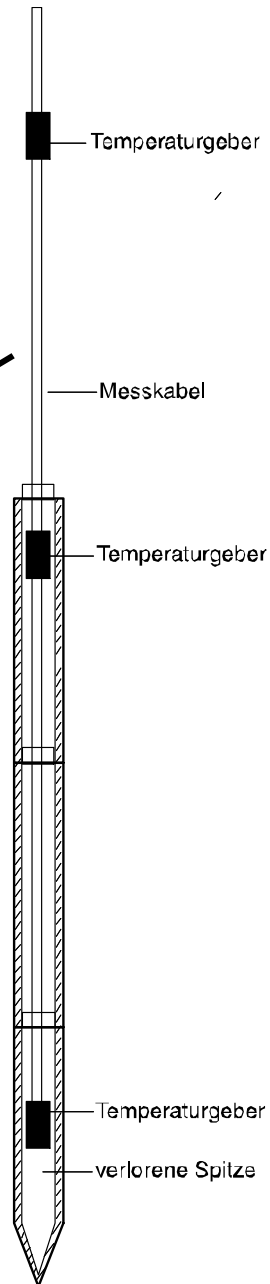
3 Konzept Erdwärmeanlage

Schnitt A-A: Temperatur

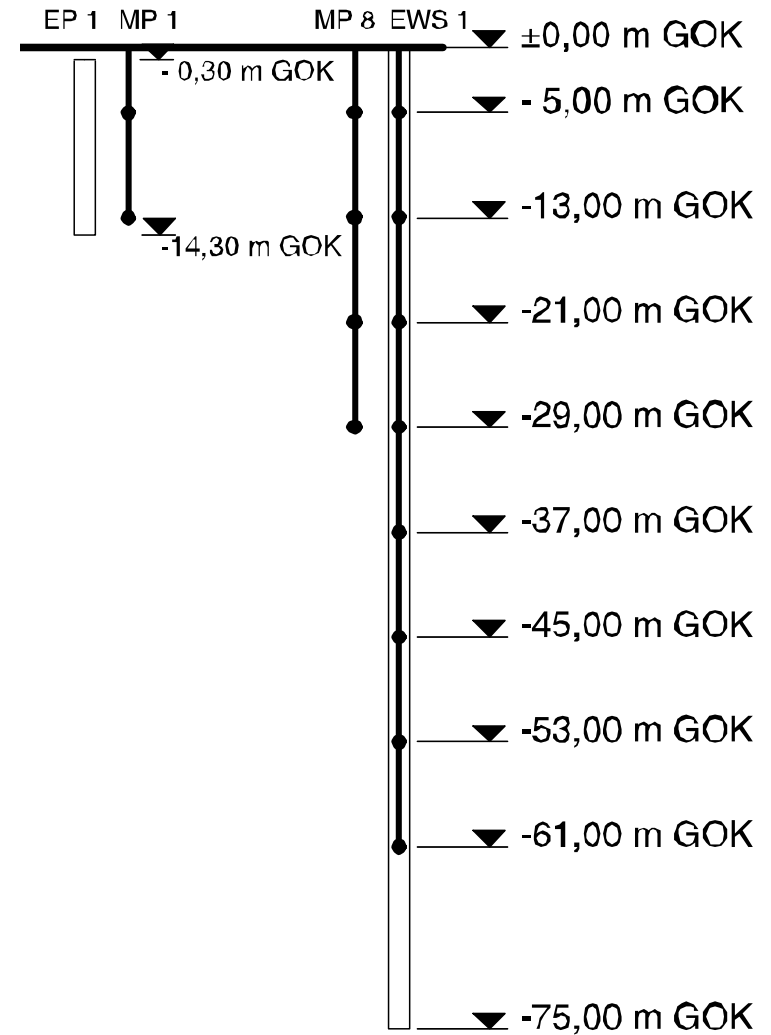
Schnitt A-A



MP: Messpunkte
 EWS: Erdwärmesonden
 EP: Energiepfähle

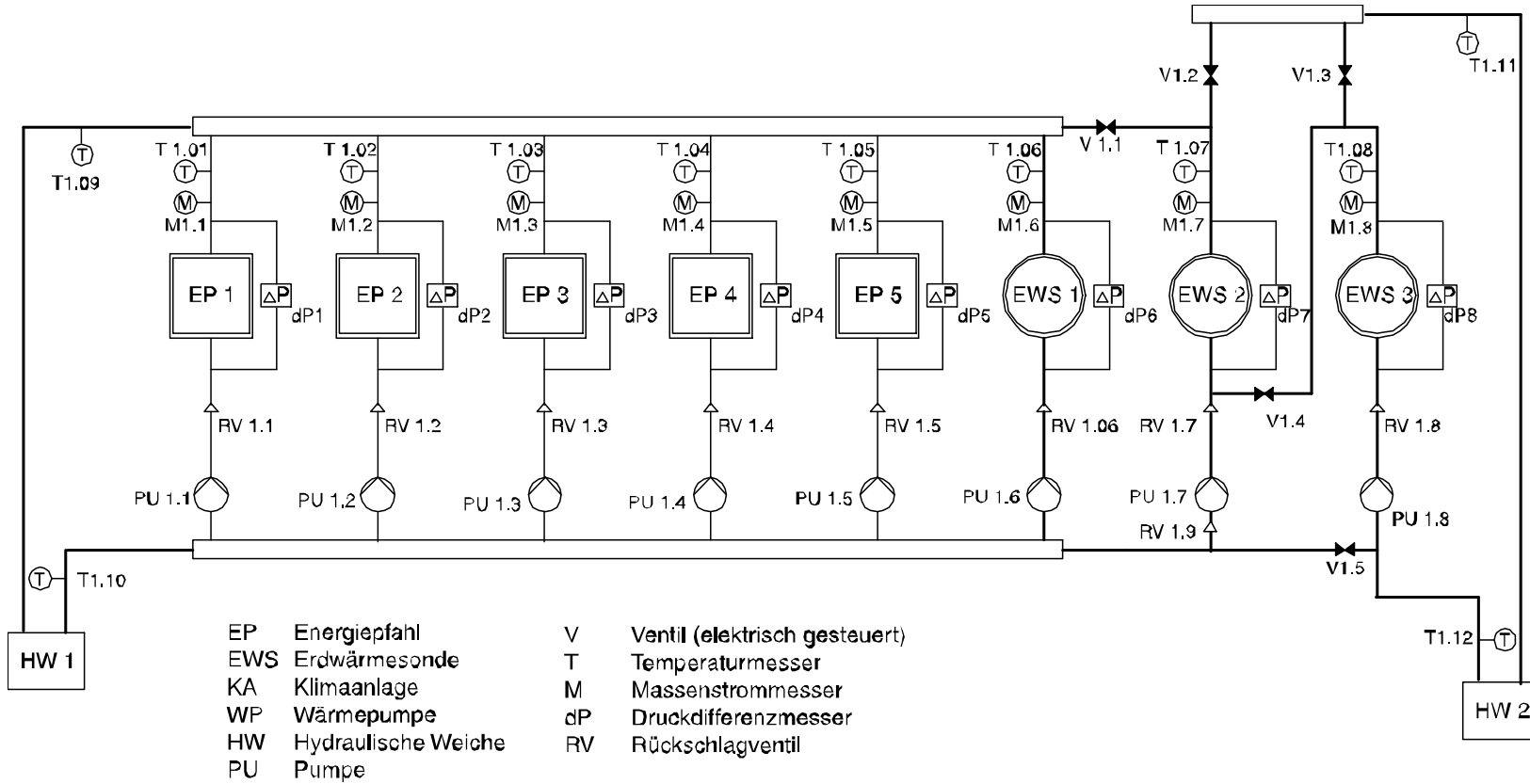


r



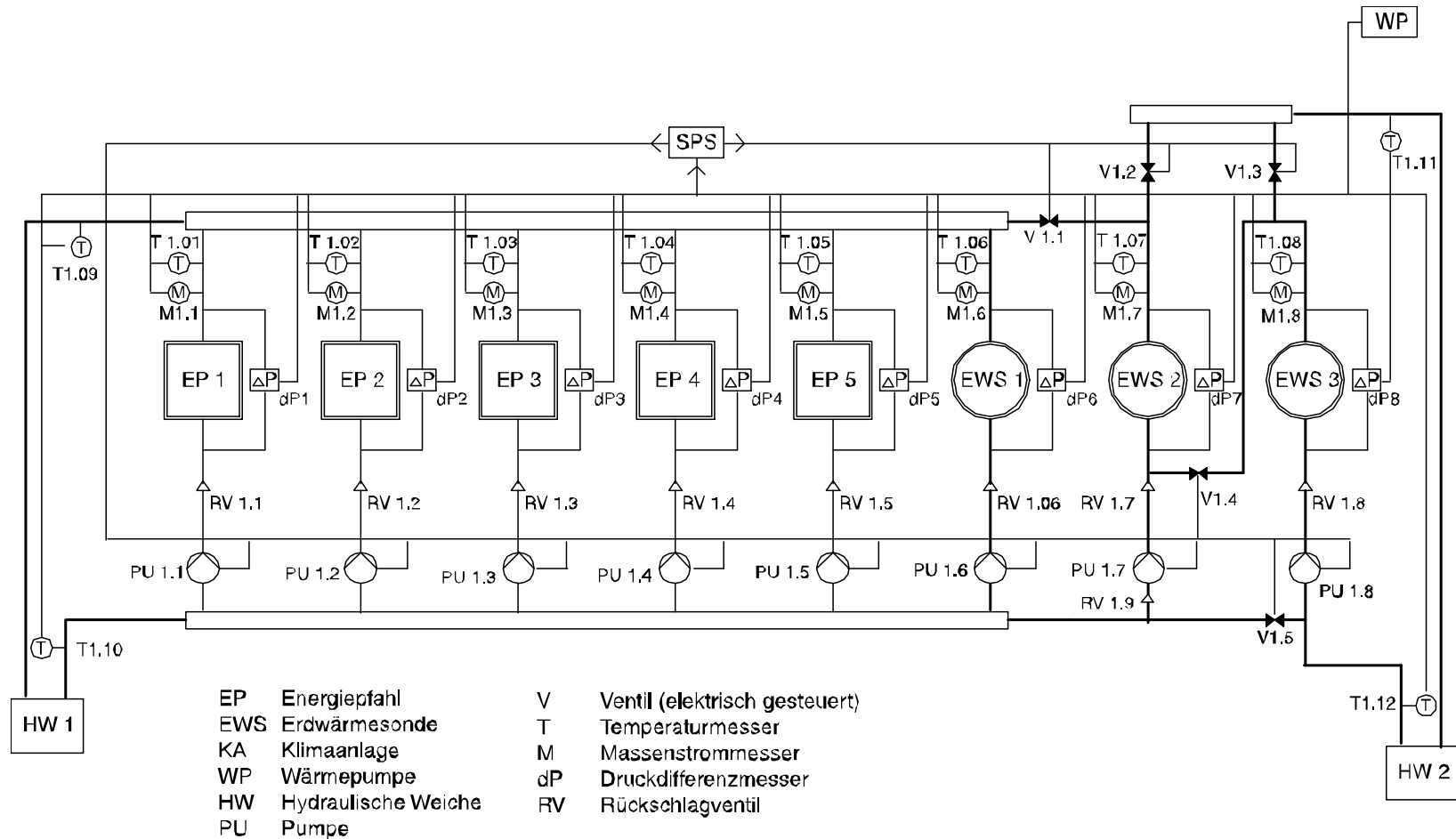
Hydraulikplan

3 Konzept Erdwärmeanlage

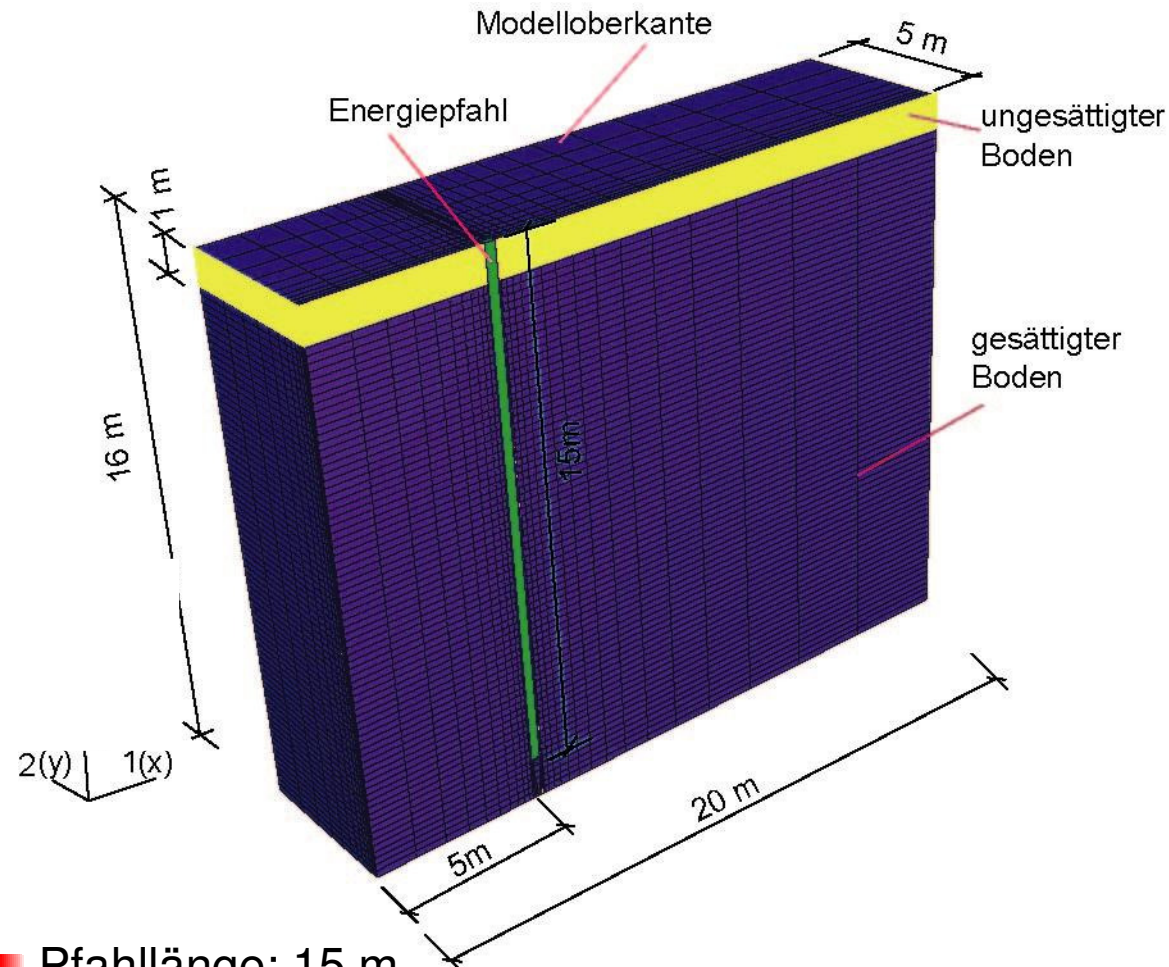


Hydraulikplan und Steuerungssystem

Konzept Erdwärmeanlage

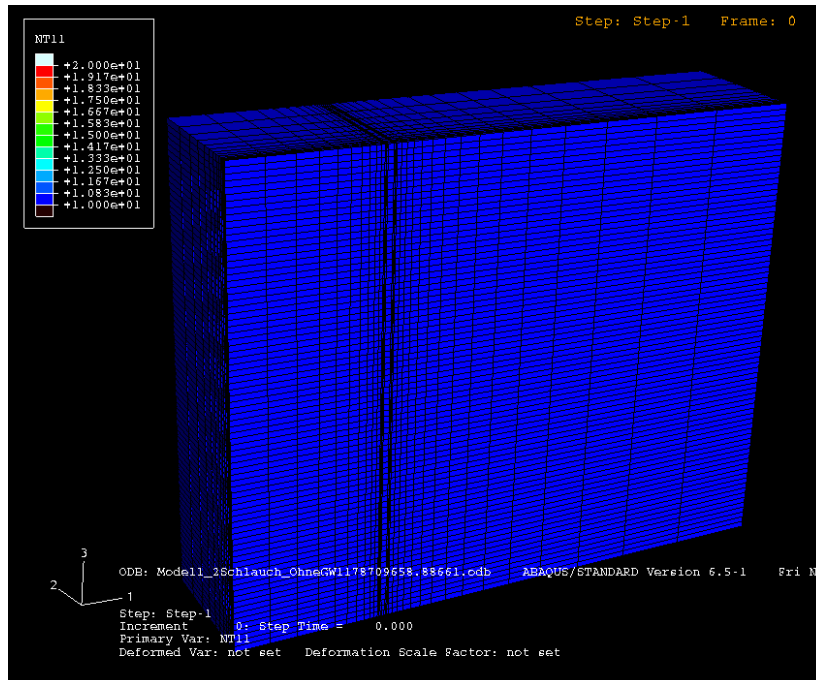


3-D Simulation eines Energiepfahls

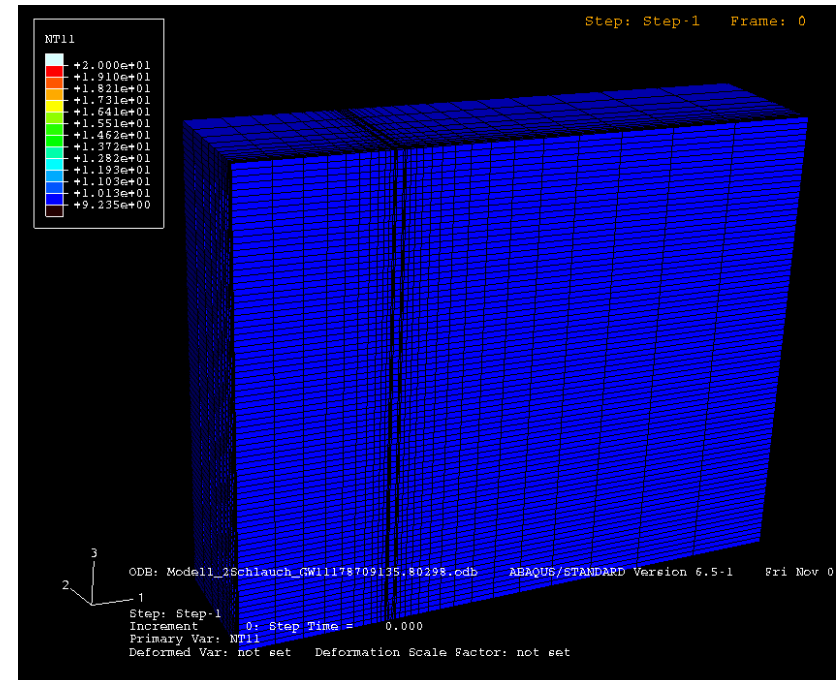


- Pfahllänge: 15 m
- Querschnitt des Pfahls: 40 × 40 cm
- Durchmesser der Wärmetauschrohre: 4 cm
- Wärmetauschmittel: Wasser

Berechnete Temperaturverteilung im Untergrund über einen Monat

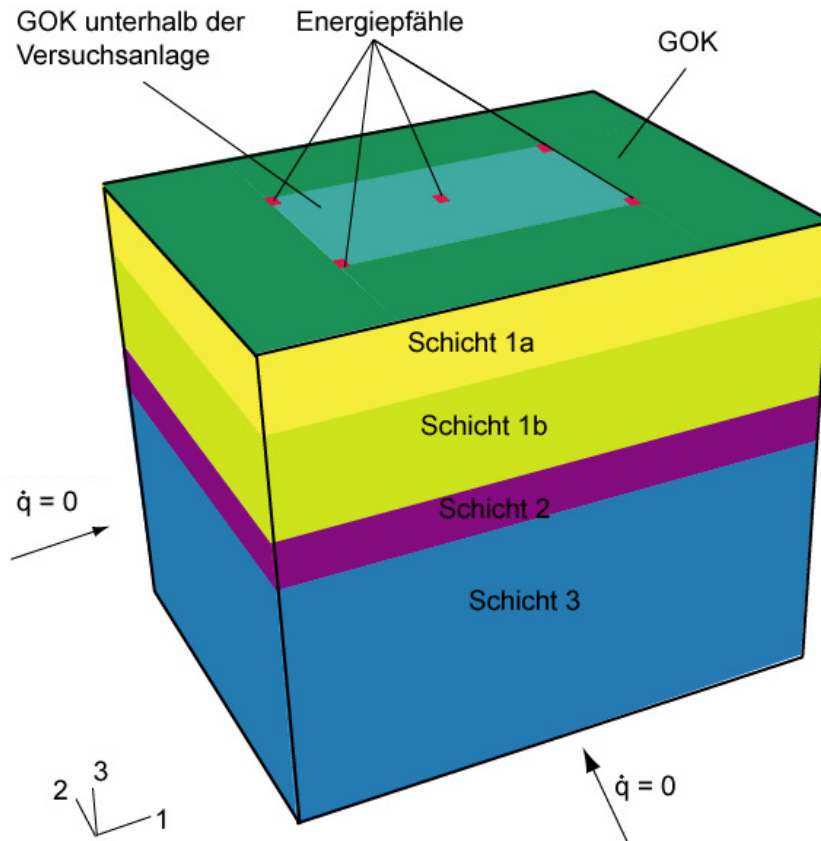


Ohne Grundwasserströmung



Mit GW-Strömung
(Grundwasserfließgeschwindigkeit:
 $V_a = 2,5 \text{ m/d}$)

Simulation der geplanten Energiepfahlanlage



■ **Bodenschichten: 3**

1: Auffüllung

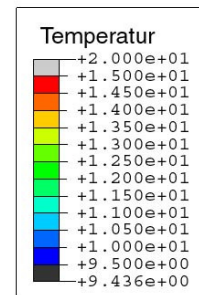
2: Hafenschlick

3: Mittelsand

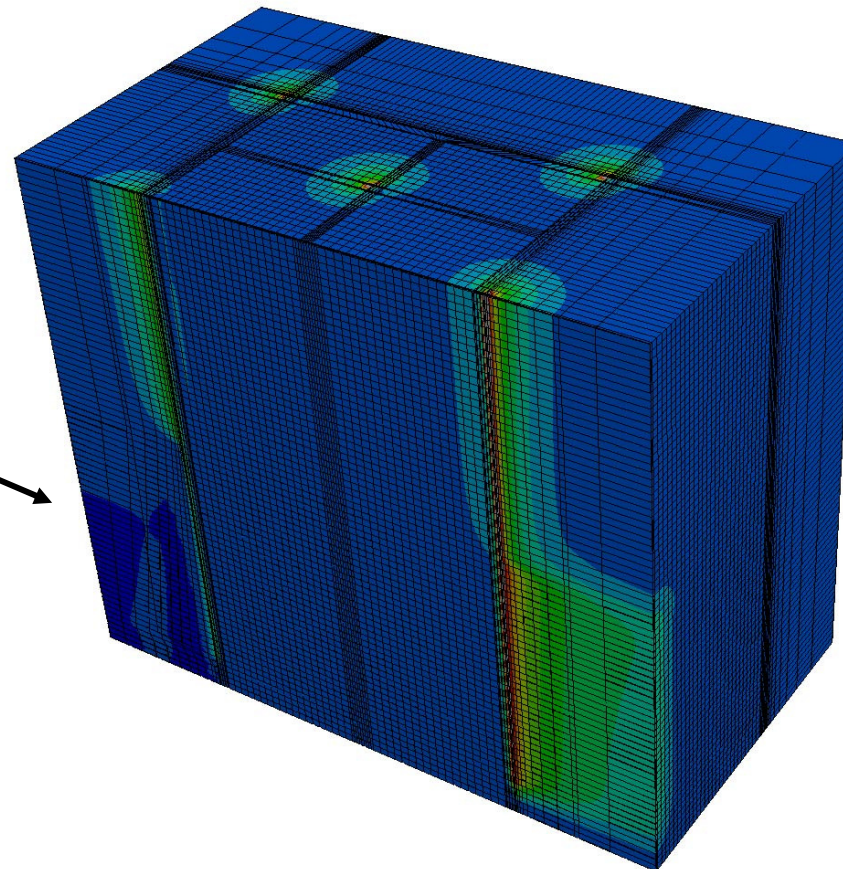
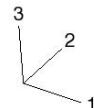
■ **Pfahllänge: 18m**

■ **Modelltiefe: 19 m**

Berechnetes Temperaturfeld nach einem Monat



GW-Strömung



Abstandgeschwindigkeit des Grundwassers in der Schicht 3: $v_a = 1$ m/d

Ergebnisse der Simulationen

- Durchschnittliche Kälteleistung für einen kontinuierlichen Betrieb über einen Monat

40 W/m Pfahl

- Nach VDI 4640: 20-70 W/m Erdwärmesonde, gewählt:

30 W/m Erdwärmesonde

- Kälteleistung der gesamten Erdwärmeanlage beträgt:

5 Energiepfähle à 18 m: $5 \times 12 \text{ m} \times 40 \text{ W/m} = 2400 \text{ W}$

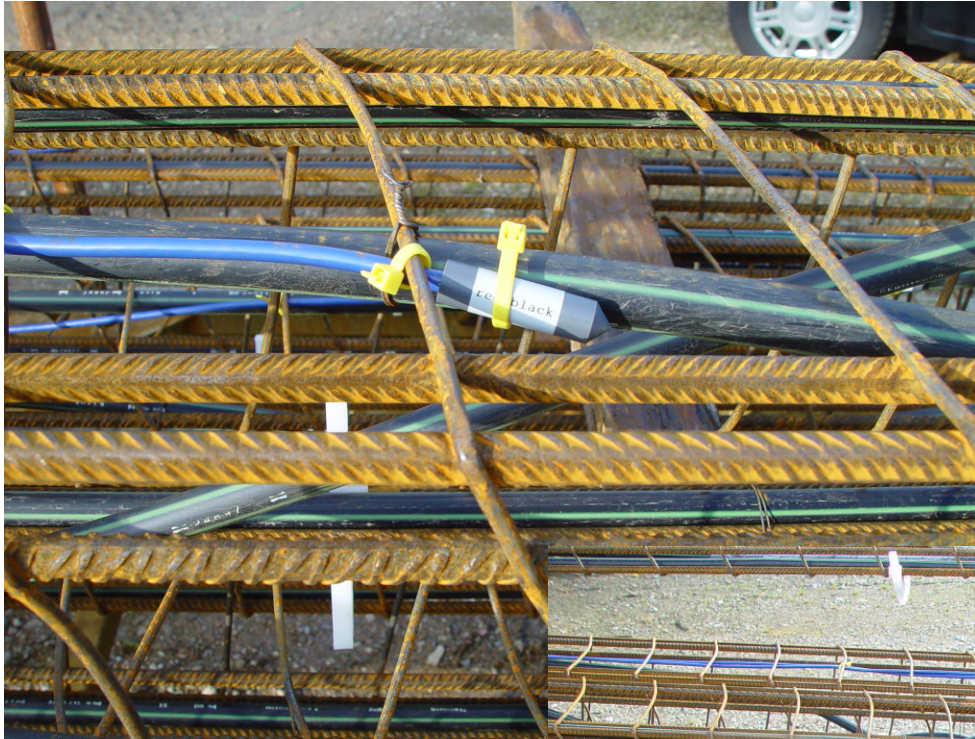
3 Erdwärmesonden à 75 m: $3 \times 73 \text{ m} \times 30 \text{ W/m} = 6500 \text{ W}$

 $P = 2400 \text{ W} + 6500 \text{ W} = 9900 \text{ W}$

Pfahlherstellung



5 Bauphase

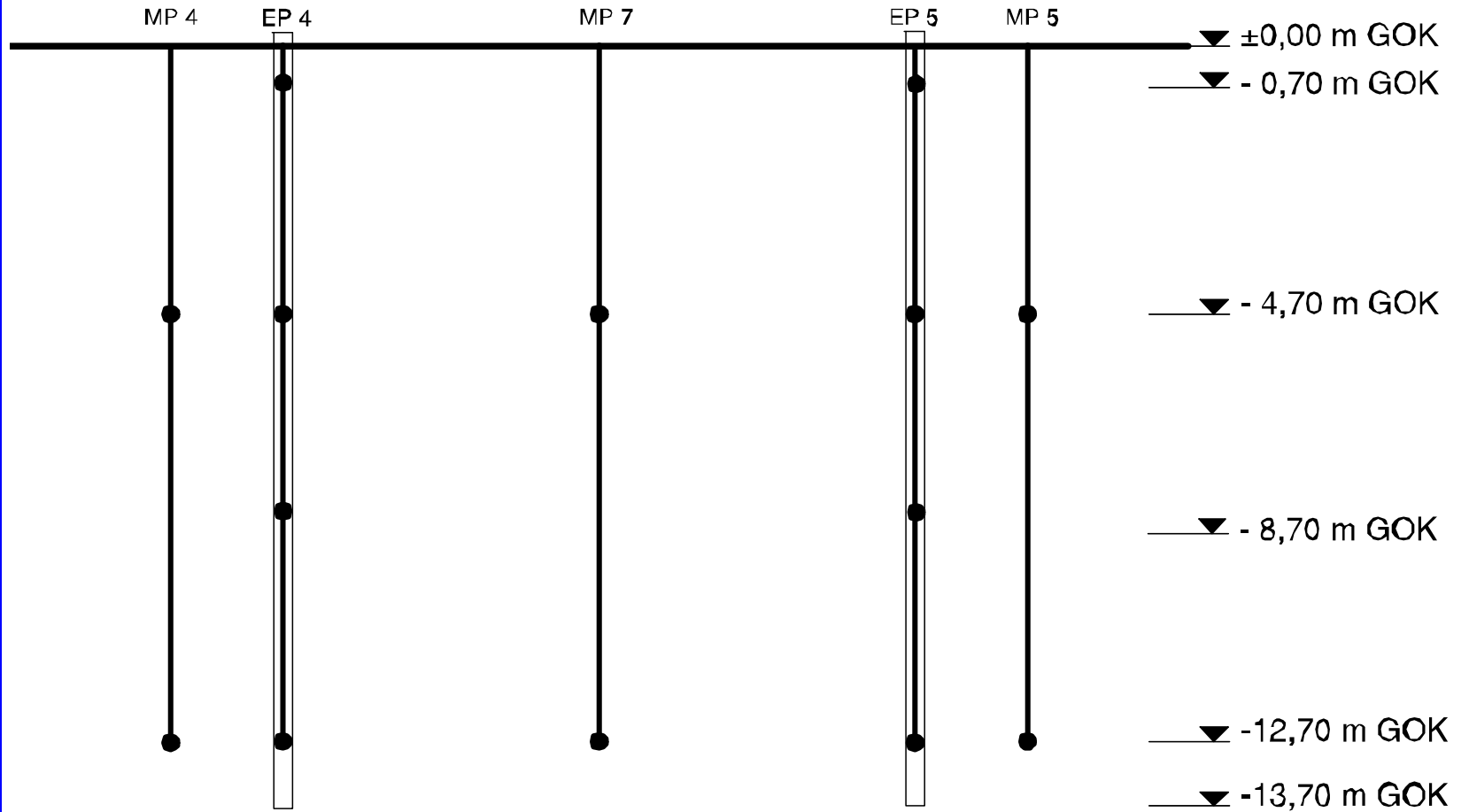




5 Bauphase



Schnitt B-B



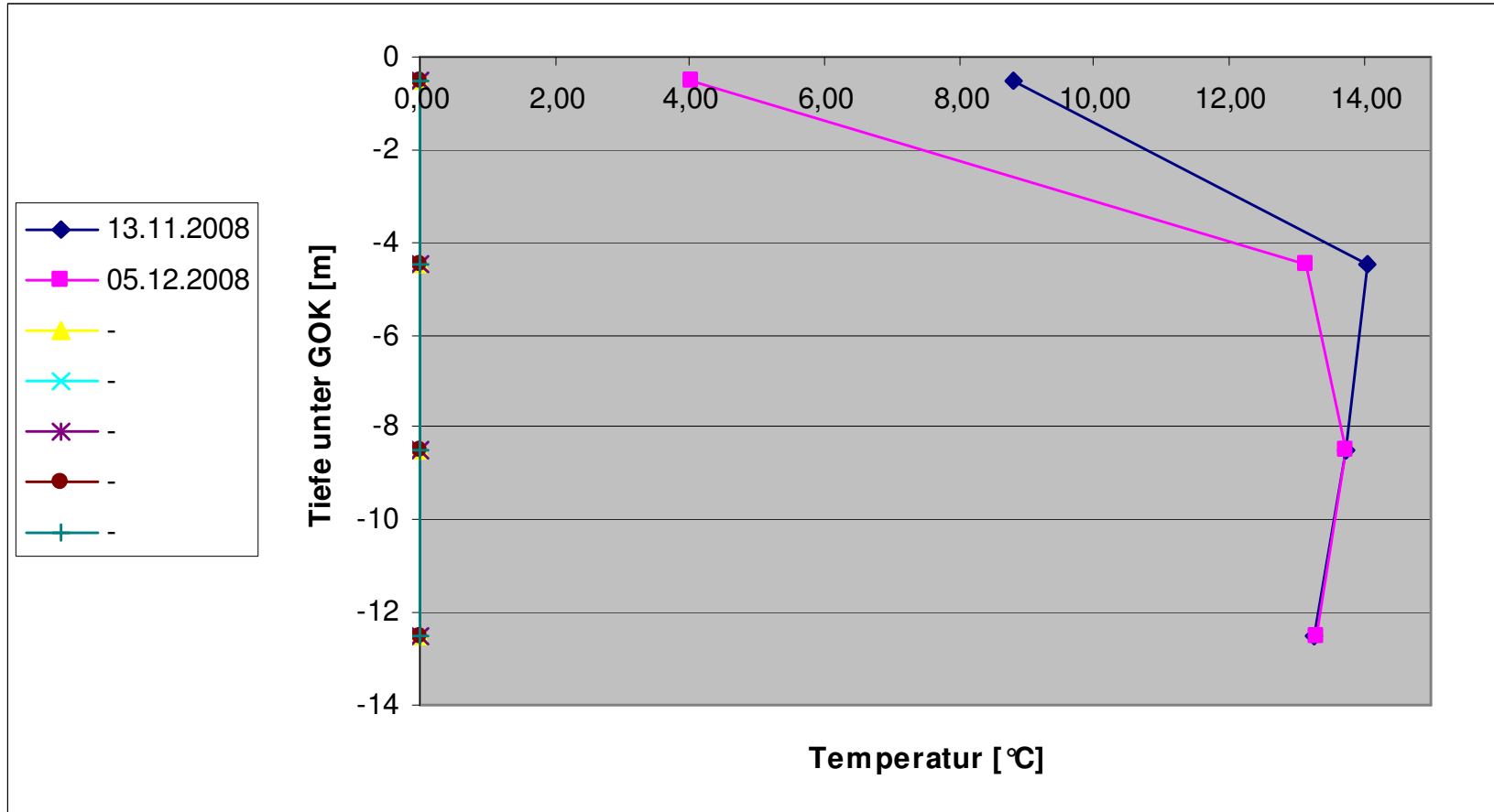
Einrammen der Energiepfähle

- Auflockerungsbohrung bis 8 unter GOK
- Abstimmen der Vorgänge mit Nachbarn
- Rammarbeit begleitende Schwingungsmessungen
- Beweissicherung

5 Bauphase

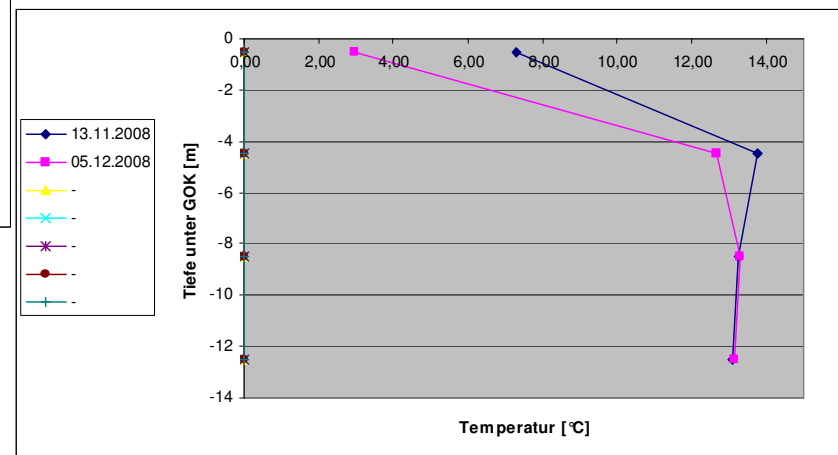
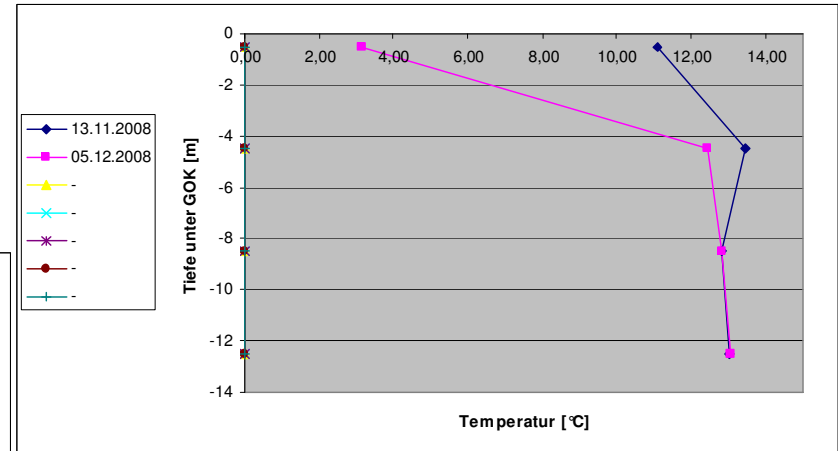
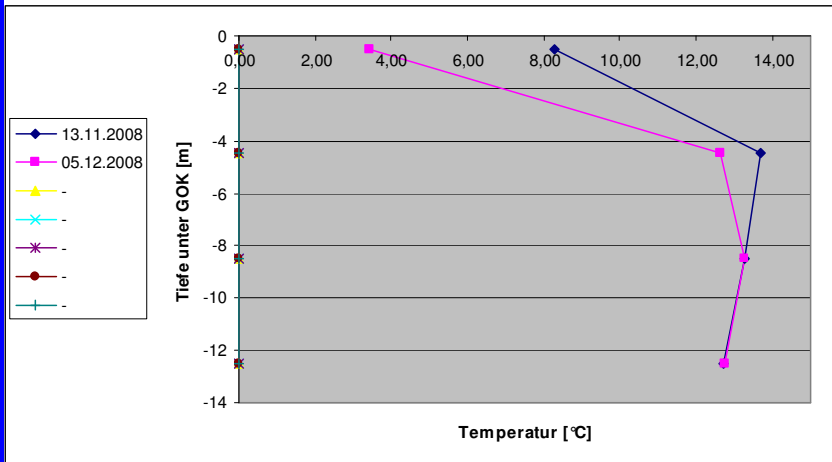


Erste Messergebnisse



Erste Messergebnisse

6 Bauphase



Zeitplan

05.11.2008	Pfahlrammung
6. KW 2009	Erdwärmesondenbohrung , Messbrunnen
9. KW 2009	Einbringen der Temperaturgeber
10.-11. KW 2009	Horizontale Verbindung, Sauberkeitsschicht
12. KW 2009	Aufstellung der Technik- und Bürocontainer
ab 13. KW 2009	Testphase der Anlage

Validierung und Ertüchtigung von Simulationsmodellen

- Validierung der geologischen / thermodynamischen Modellkomponenten
- Gekoppelte Modellierung des Gesamtsystems (Erdwärmeanlage / Feldsimulation und Klimaanlage / Systemsimulation)

Optimierung von Erdwärmeanlagen

- Optimierungsziel
 - ▶ Energiepfähle/Erdwärmesondenanlage
 - ▶ Optimierung von thermischen Eigenschaften des Untergrundes

Untersuchungen zu Änderungen im Untergrund

- Kurz- und langfristiger Einfluss der Temperaturänderung auf Methangasbildung
- Langfristige Änderung der Temperatur des Untergrundes inkl. Grundwasser

Erarbeitung von Bemessungsverfahren

- Nutzungsorientierte Bemessungsverfahren für erdberührte Betonbauteile
 - ▶ Spitzenleistung / durchschnittliche Leistung
 - ▶ Wärmeleistung / Kälteleistung

Überprüfung von Wirtschaftlichkeit

- Prognose der Effizienz von Erdwärmesonden- und Energiepfahl-systemen aus technischen und ökonomischen Gesichtspunkten (auch für größere Gebäude)
- Überprüfung der Wirtschaftlichkeit der Nutzung oberflächennaher Geothermie (Kühl- und Heizbetrieb)