

Aquiferspeicherung mit dem Horizontalfilter-Zirkulationsbrunnen und kalte Netze für die Innenstadt

eZeit Ingenieure - Michael Viernickel, M.Sc. Fabian Eichelbaum
UBV Vogtland - Dr. Ing. Thomas Daffner, Dr. Carsten Leibenath

17. Oktober 2023

Agenda

Individuelle Maßnahmen zur Wärmewende

1

Aquiferspeicherung

2

Vertikalzirkulation

3

Grundwasserschutz

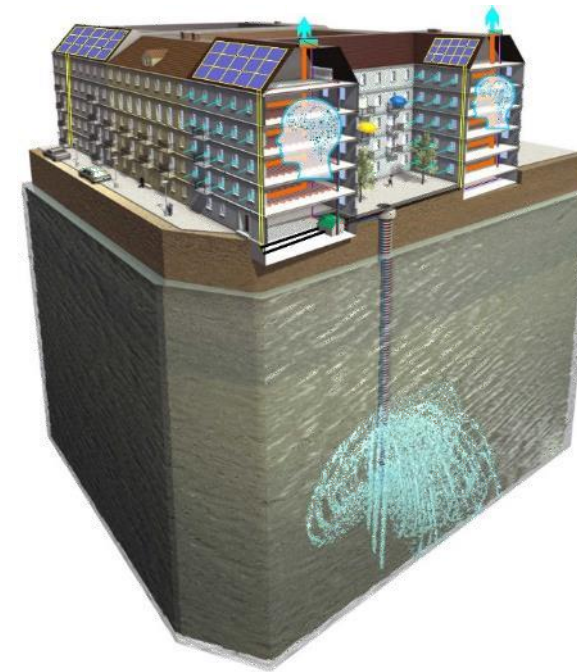
4

„Kalte“ Umweltwärme-Netze als Infrastrukturangebot

5

Komplexe Energieeinsparmaßnahmen

- Individuelle Projektierung von Einzelmaßnahmen
- Umsetzung mit verschiedenen Gewerken



Maßnahmen **1**

1

2

3

4

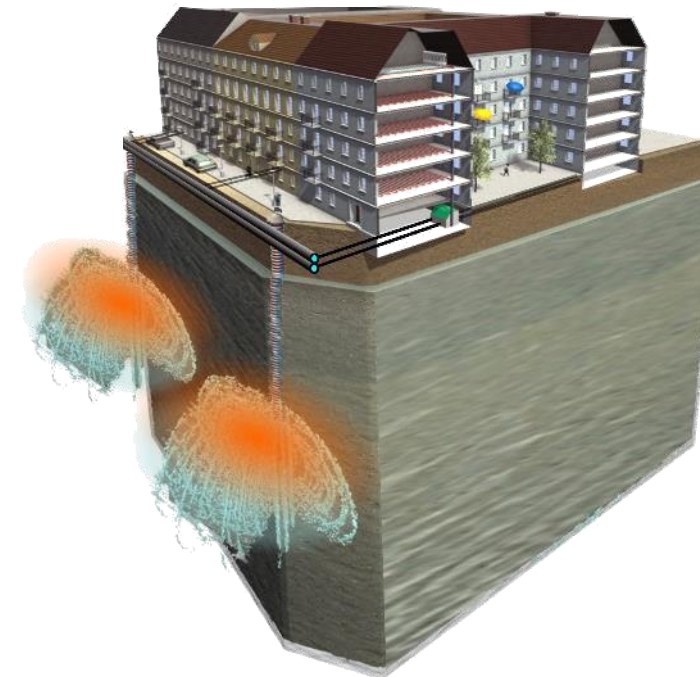
5

Individuelle Maßnahmen

1. Dämmung & Fenstersanierung
2. Vernetzte Raumregelung & Systemtemperatur-Optimierung
3. Zentrale Abluftwärmerückgewinnung und Wärmepumpen
4. Solarenergienutzung mit PV-Thermie – Kollektoren
5. Saisonale geothermische Wärmespeicherung auf dem Grundstück - **PLATZBESCHRÄNKUNG**

Niedrigschwellige Umstellung auf Klimaneutralität

- Tausch des Kessels gegen Wärmepumpe
- Kein weiterer Eingriff am Gebäude notwendig



Maßnahmen **1**

1

2

3

4

5

Infrastrukturmaßnahme im öffentlichen Raum:

Flexibel erweiterbare „Kalte“ Umweltwärmenetze in der Straße mit unisolierten Rohren
ermöglichen Wärmeaustausch (z.B. Kühlung und Trinkwassererwärmung)

Oberflächennahe Geothermie im öffentlichen Raum

zur saisonale Wärmespeicherung mit Temperaturen zwischen 5° und 15°C

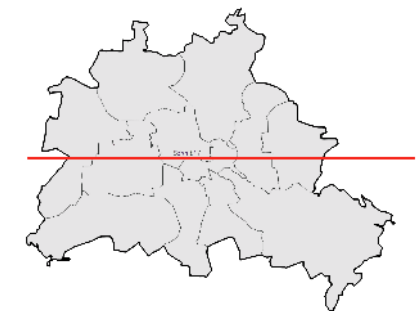
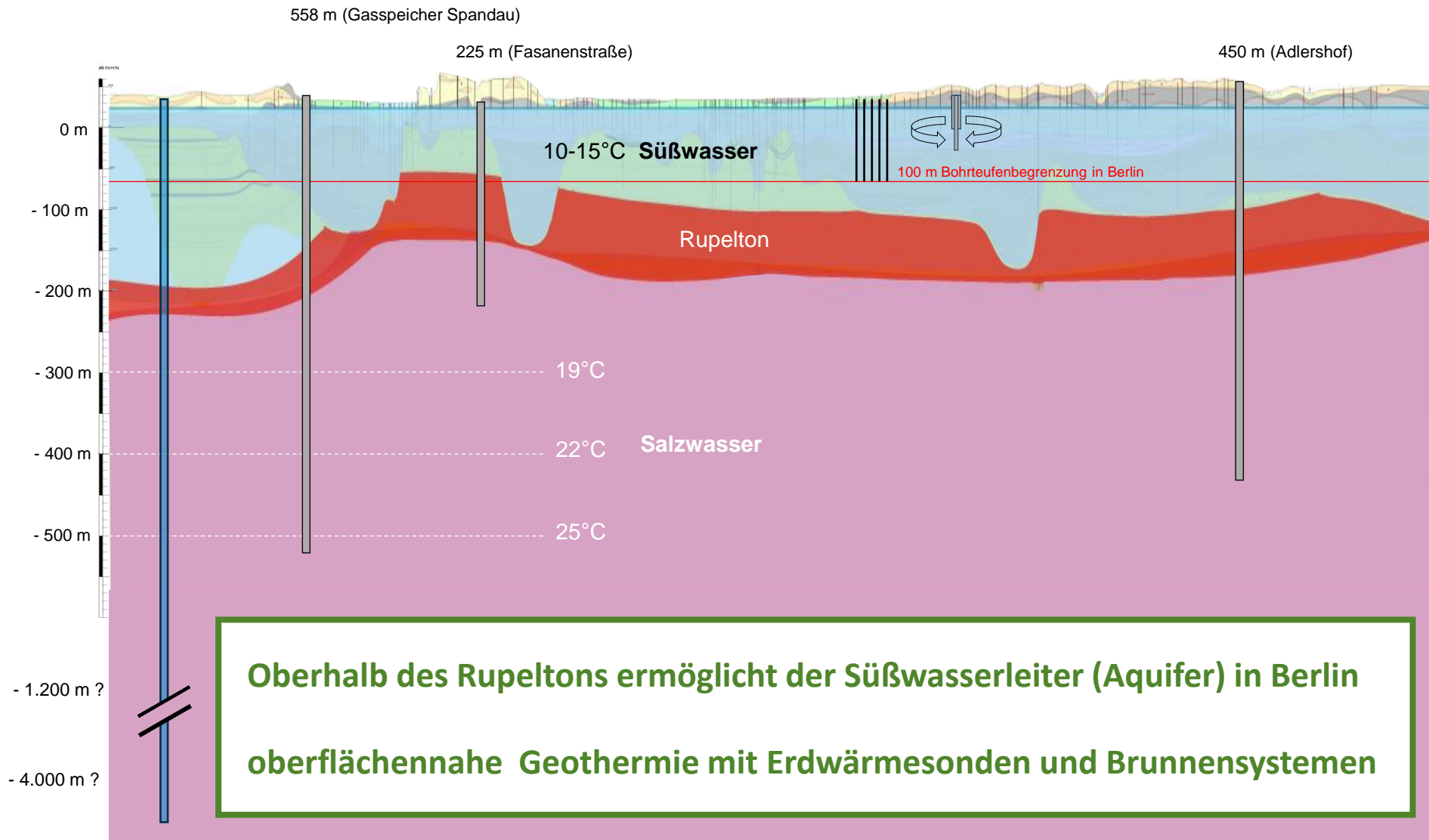
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

3

4

5



Quelle: Geoportal Berlin

Wärmebilanz und Aquiferspeicherkapazität im Stadtzentrum

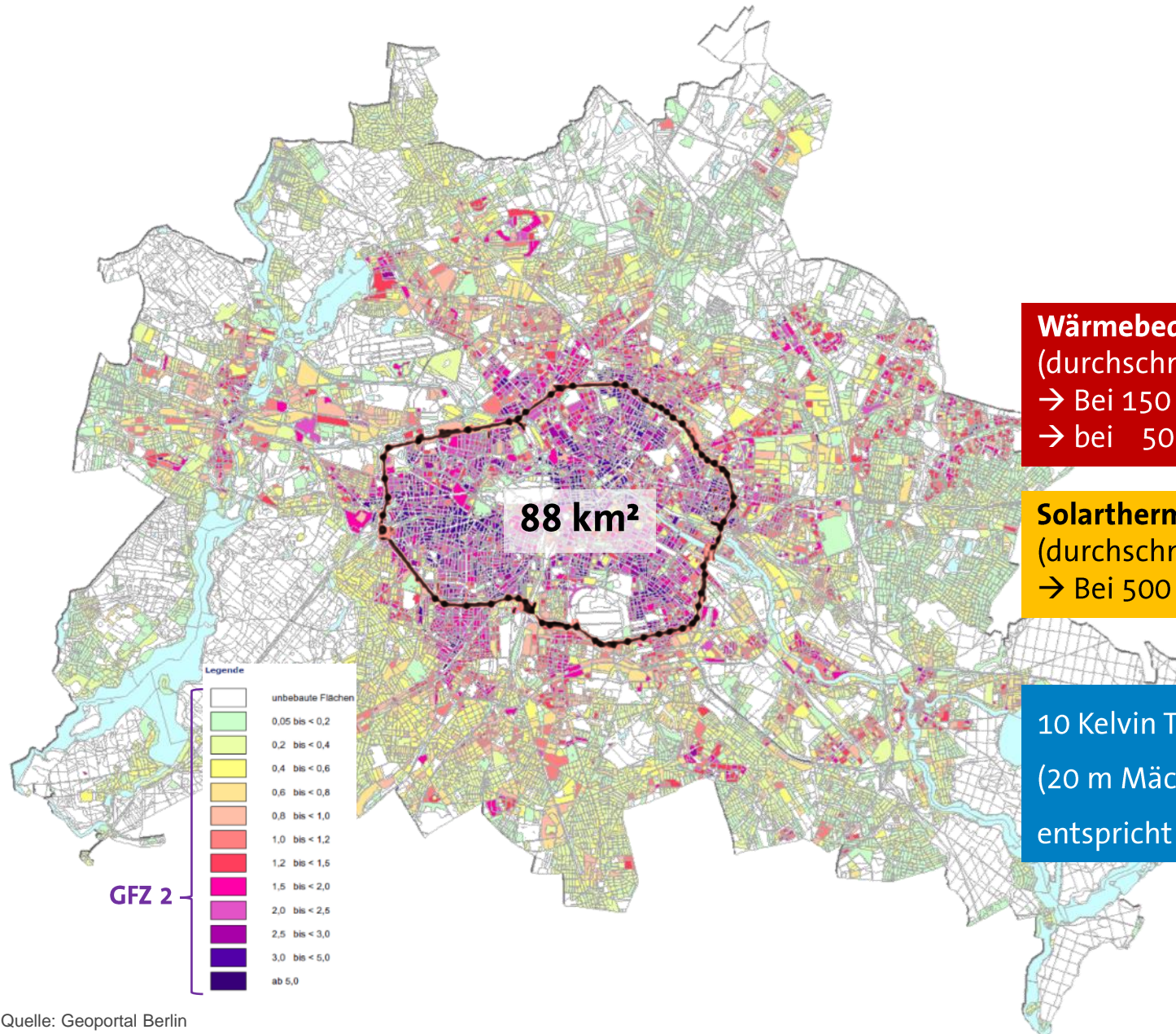
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

3

4

5



88 km²

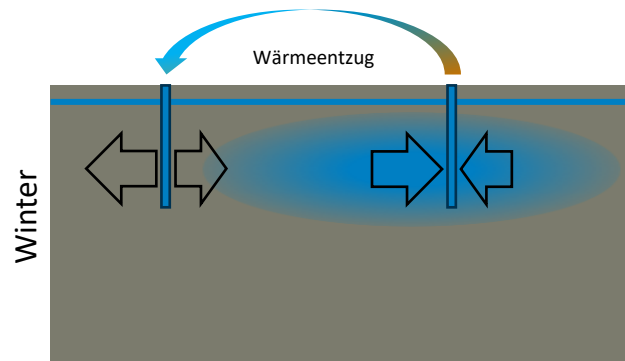
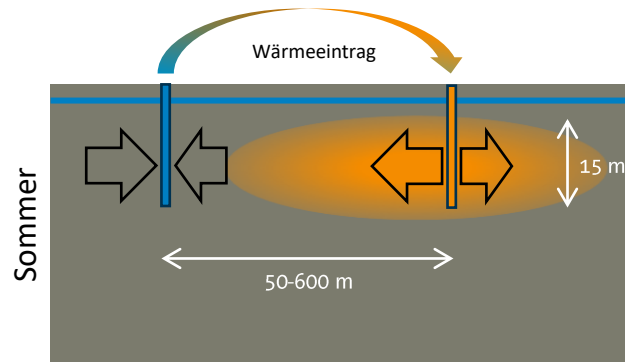
Wärmebedarf von 88 km² Nutzfläche im S-Bahnring
(durchschnittliche GFZ=2)
→ Bei 150 kWh/m²a = **13 TWh**
→ bei 50 kWh/m²a = **4.4 TWh**

Solarthermie-Ertrag aus 88 km² Nutzfläche
(durchschnittlich 500 kWh/m²)
→ Bei 500 kWh/m²a = **44 TWh**

10 Kelvin Temperaturänderung über 88 km²
(20 m Mächtigkeit, 60% Inanspruchnahme)
entspricht **8 TWh Wärmekapazität**

Brunnendubletten (im Wechselbetrieb)

**Aquiferspeicherung ist ab 30 kW bis mehreren MW je Standort dezentral möglich,
und wurde in den Niederlanden mehr als 3.000-fach realisiert**



Doubletten-Aquiferspeicher (ATES)
(mit Vertikal- oder Horizontalbrunnen)

Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

3

4

5

Aquifer – Heterogenitäten (Anisotropie)

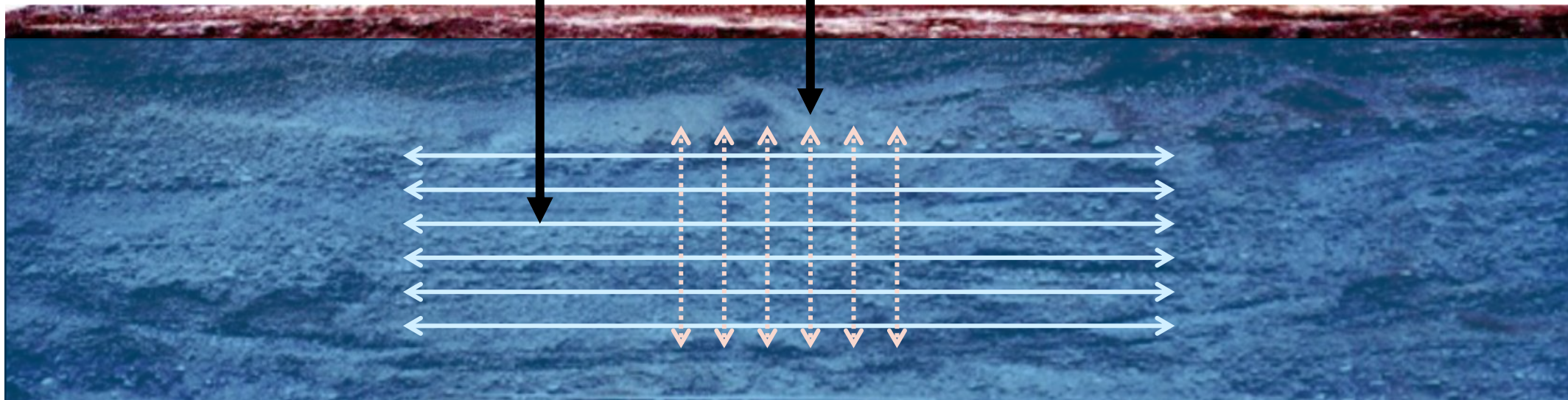
Voraussetzung für leistungsfähige vertikale Grundwasserzirkulations-Geothermie

- Maßnahmen 1
- Aquiferspeicher 2
- Vertikalzirkulation 3**
- 4
- 5

Hydraulische Durchlässigkeit

um Faktor 3 – 10

horizontal höher als **vertikal**



Aquiferspeicher-Typologie im Grundwasser

Grundwasserzirkulationsbrunnen / Mono Well / Koaxialbrunnen / Integralsonde

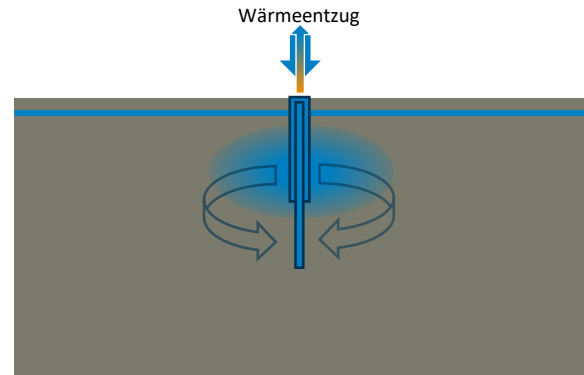
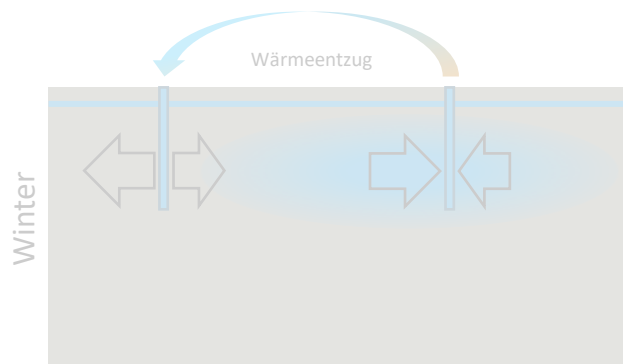
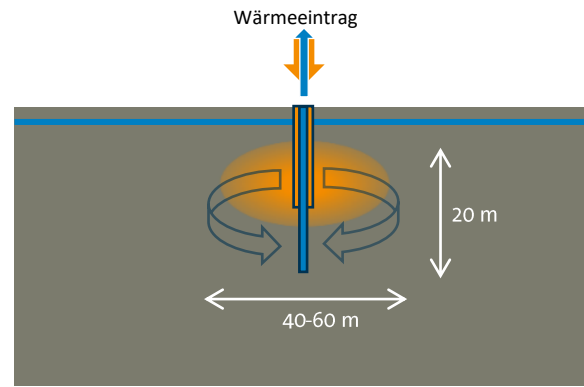
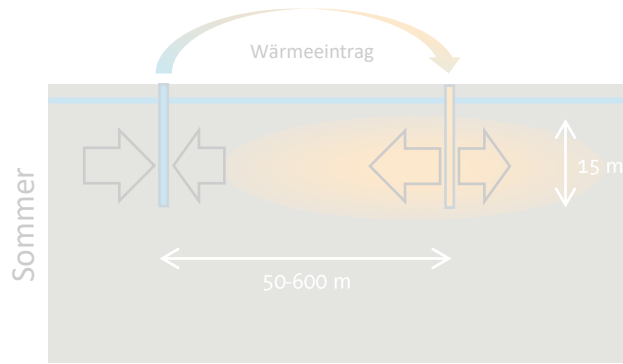
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

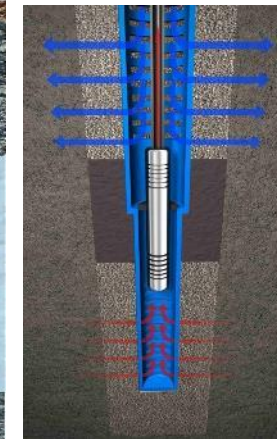
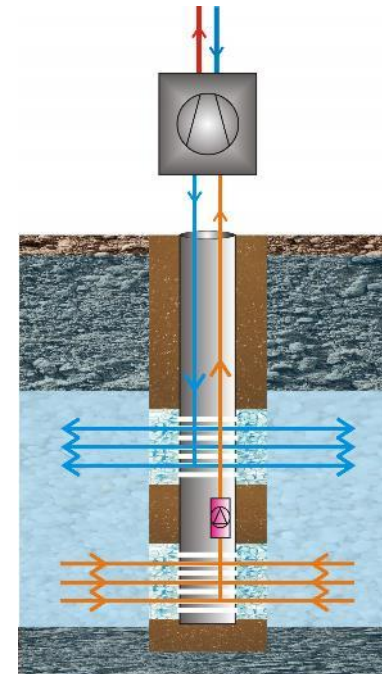
4

5



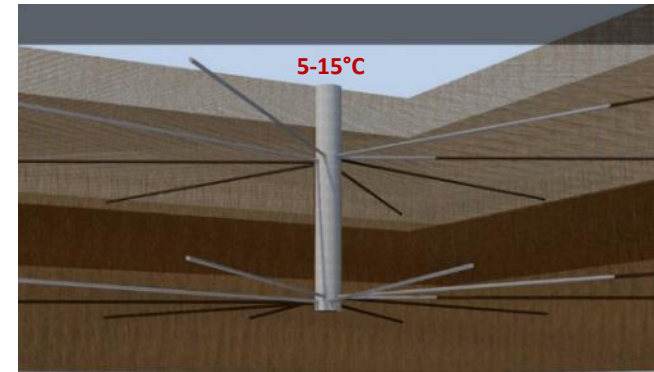
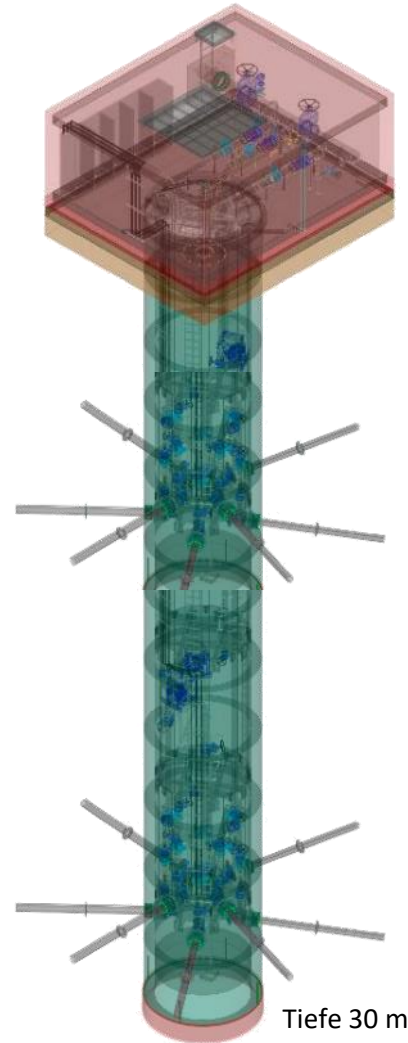
Doubletten-Aquiferspeicher (ATES)
(mit Vertikal- oder Horizontalbrunnen)

Grundwasserzirkulationsbrunnen
(„Mono-Well“ / „Integralsonde“ / „Koaxialbrunnen“)



Horizontalfilter-Zirkulationsbrunnen

Aquiferspeicher im Megawatt-Leistungsbereich



- Bewährte Technologie seit mehr als 100 Jahren
- Heizen und Kühlen möglich
- Kein Fündigkeitsrisiko
- Sanierungspotenzial für Altlasten

Maßnahmen 1

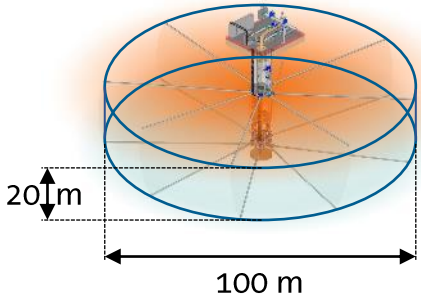
Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

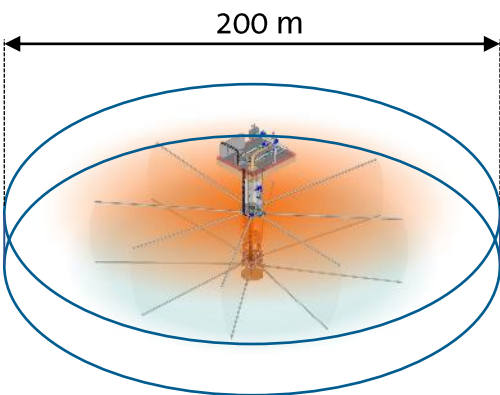
4

5

Kapazitätsabschätzung



Abkühlung	Durchmesser	Fläche	Mächtigkeit	Volumen
10,0 K	100 m	7.854 m ²	20 m	157.080 m ³
15,0°C	maximal im Sommer		} Mitteltemperatur 10°C	
5,0°C	minimal im Winter			
Spez. Wärmekapazität (30% Wasser, 70% Sand)				Kapazität
			763 Wh/K*m ³	1.198 MWh
			davon 70%	839 MWh



Abkühlung	Durchmesser	Fläche	Mächtigkeit	Volumen
10,0 K	200 m	31.416 m ²	20 m	628.319 m ³
15,0°C	maximal im Sommer		} Mitteltemperatur 10°C	
5,0°C	minimal im Winter			
Spez. Wärmekapazität (30% Wasser, 70% Sand)				Kapazität
			763 Wh/K*m ³	4.793 MWh
			davon 70%	3.355 MWh

Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

4

5

Leistungsfähigkeitsnachweis auf Basis numerischer Simulation

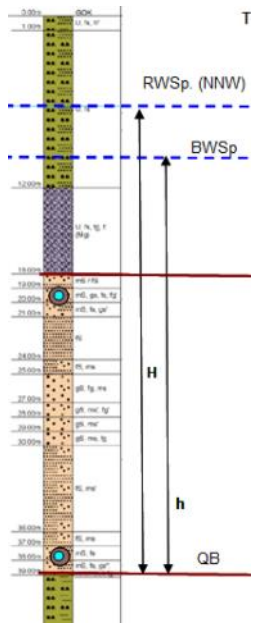
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

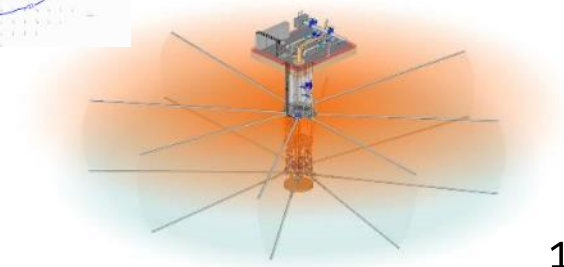
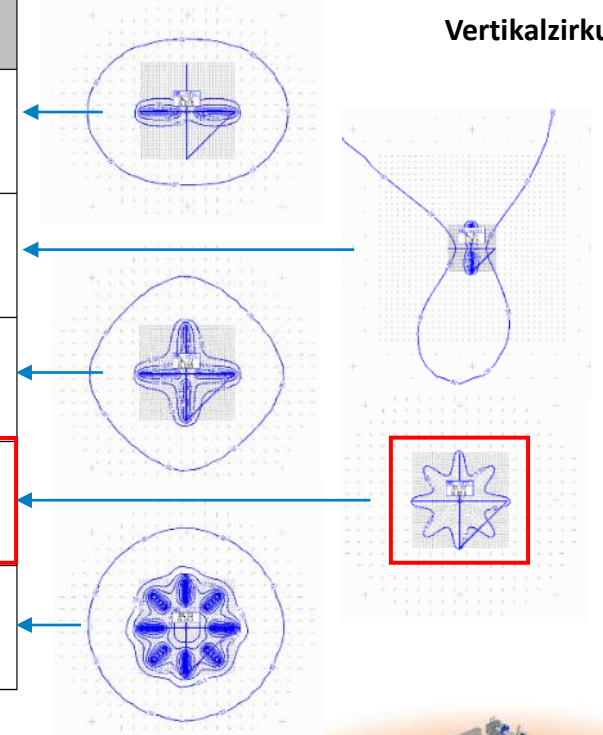
4

5



Modellszenario	Ausbau	Maximale Entnahme [m³/d]	Spitzenleistung [MW]	Jahresarbeit [MWh]
BG23_2	2 Filterstränge à 40 m + 10 m Blindrohr am Schacht, Entnahme und Re-Infiltration parallel angeordnet	2.099	0,76	2.700
BG23_2V	2 Filterstränge à 40 m + 10 m Blindrohr am Schacht, Entnahme und Re-Infiltration um 90° "verdreht"	2.099	0,76	3.700
BG23_4	4 Filterstränge à 40 m + 10 m Blindrohr am Schacht, Entnahme und Re-Infiltration parallel angeordnet	4.199	1,53	3.700
BG23_8	8 Filterstränge à 40 m + 10 m Blindrohr am Schacht, Entnahme und Re-Infiltration parallel angeordnet	8.397	3,05	4.400
BG23_8K	8 Filterstränge à 25 m + 25 m Blindrohr am Schacht, Entnahme und Re-Infiltration parallel angeordnet	5.248	1,91	4.900

Druckpotenziallinien



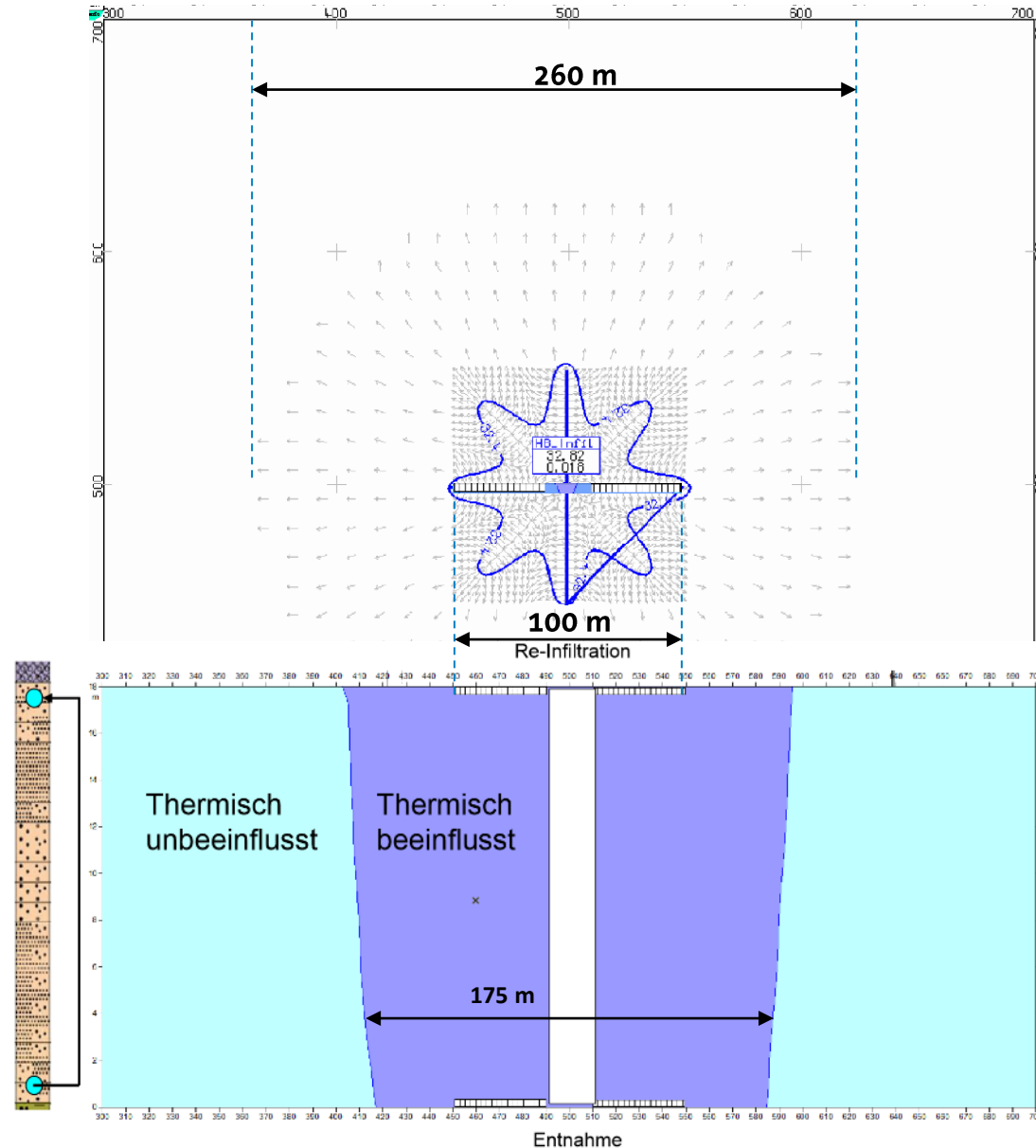
Horizontalfilter-Zirkulationsbrunnen

Hydraulischer Einflussbereich

Durch die Anisotropie erweitert sich der vom Brunnen durchströmte Bereich im Durchmesser, wodurch sich das Speichervolumen erheblich vergrößert.

Hydraulisch beeinflusst wird ein Durchmesser von ca. **260 m**,

thermisch deutlich beeinflusst wird ein nahezu zylindrisches Volumen mit einem Durchmesser von ca. **175 m**.



- Maßnahmen 1
- Aquiferspeicher 2
- Vertikalzirkulation 3**
- 4
- 5

Temperaturen unter Last

(Wärmeentzug)

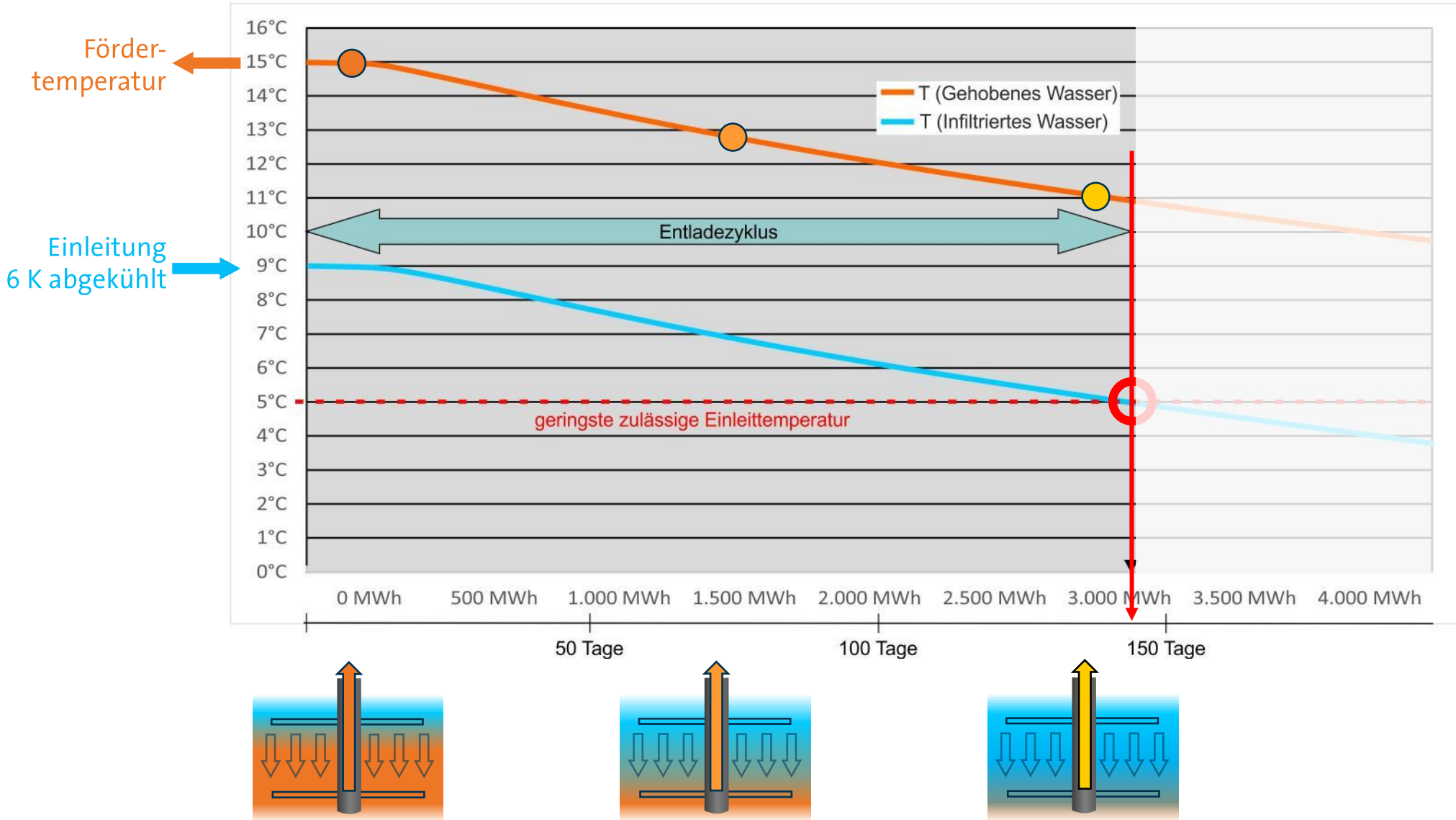
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

4

5



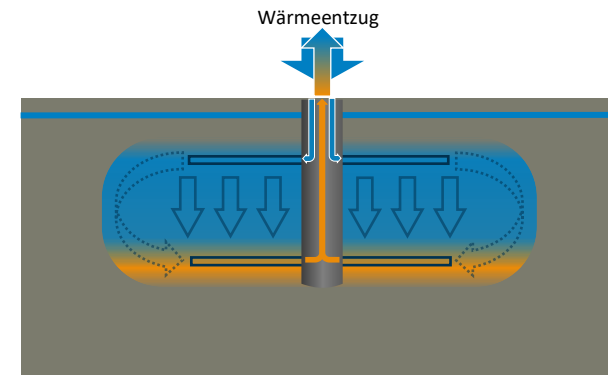
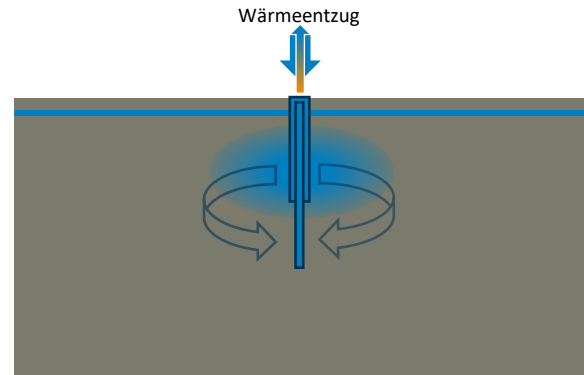
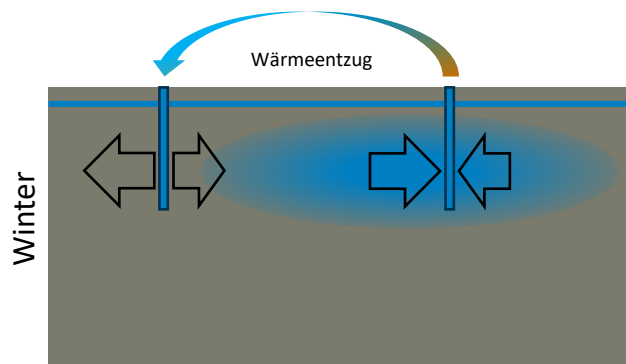
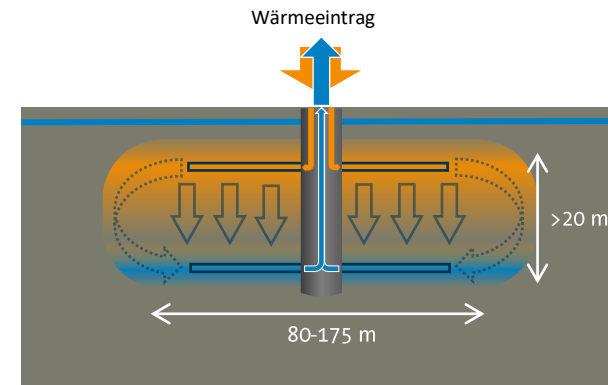
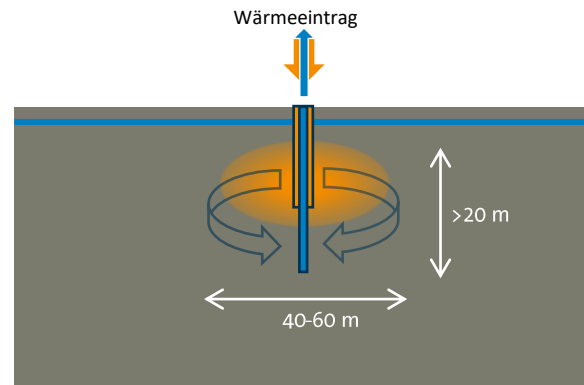
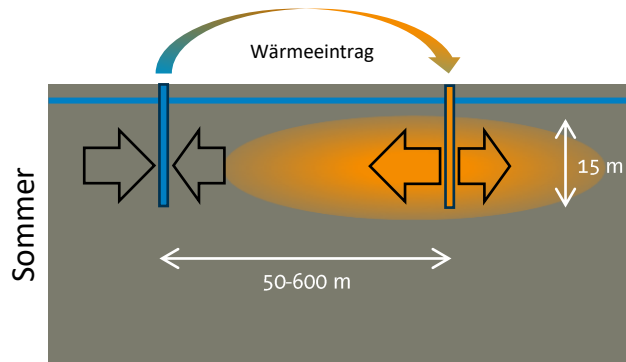
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

4

5



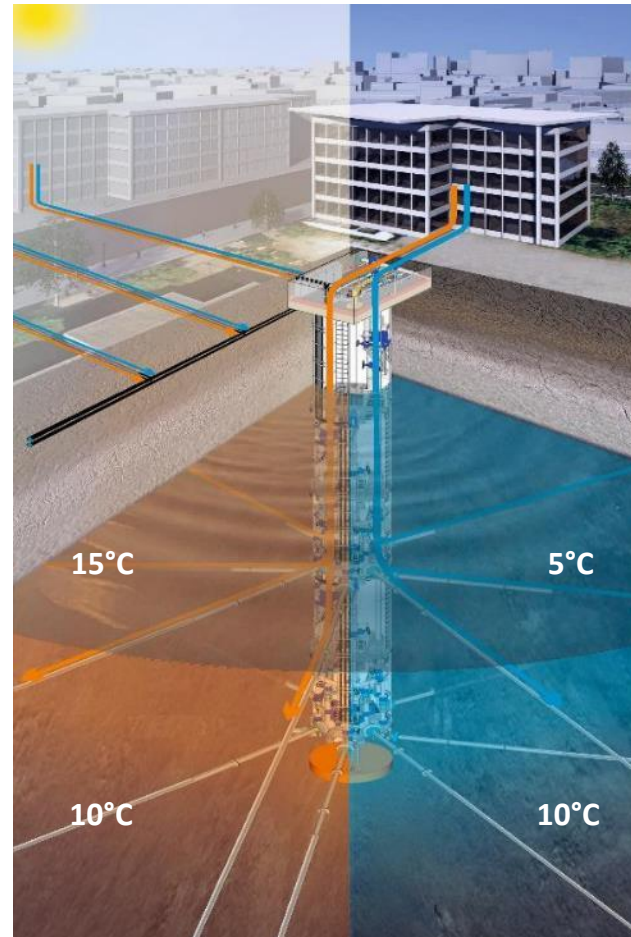
Doubletten-Aquiferspeicher (ATES)
(mit Vertikal- oder Horizontalbrunnen)

Grundwasserzirkulationsbrunnen
(„Mono-Well“ / „Integralsonde“ / „Koaxialbrunnen“)

Horizontalfilter-
zirkulationsbrunnen

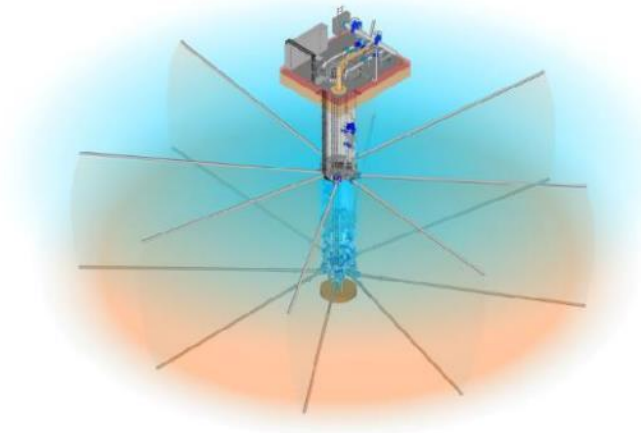
Sommer:

- Förderung von 10° Grundwasser von der Basis
- Erwärmung auf 15°C
- **15°C** Reinfiltration in der oberen Ebene



Winter:

- Förderung von 10° Grundwasser von der Basis
- Wärmeentzug bis auf 5°C
- **5°C** Reinfiltration in der oberen Ebene



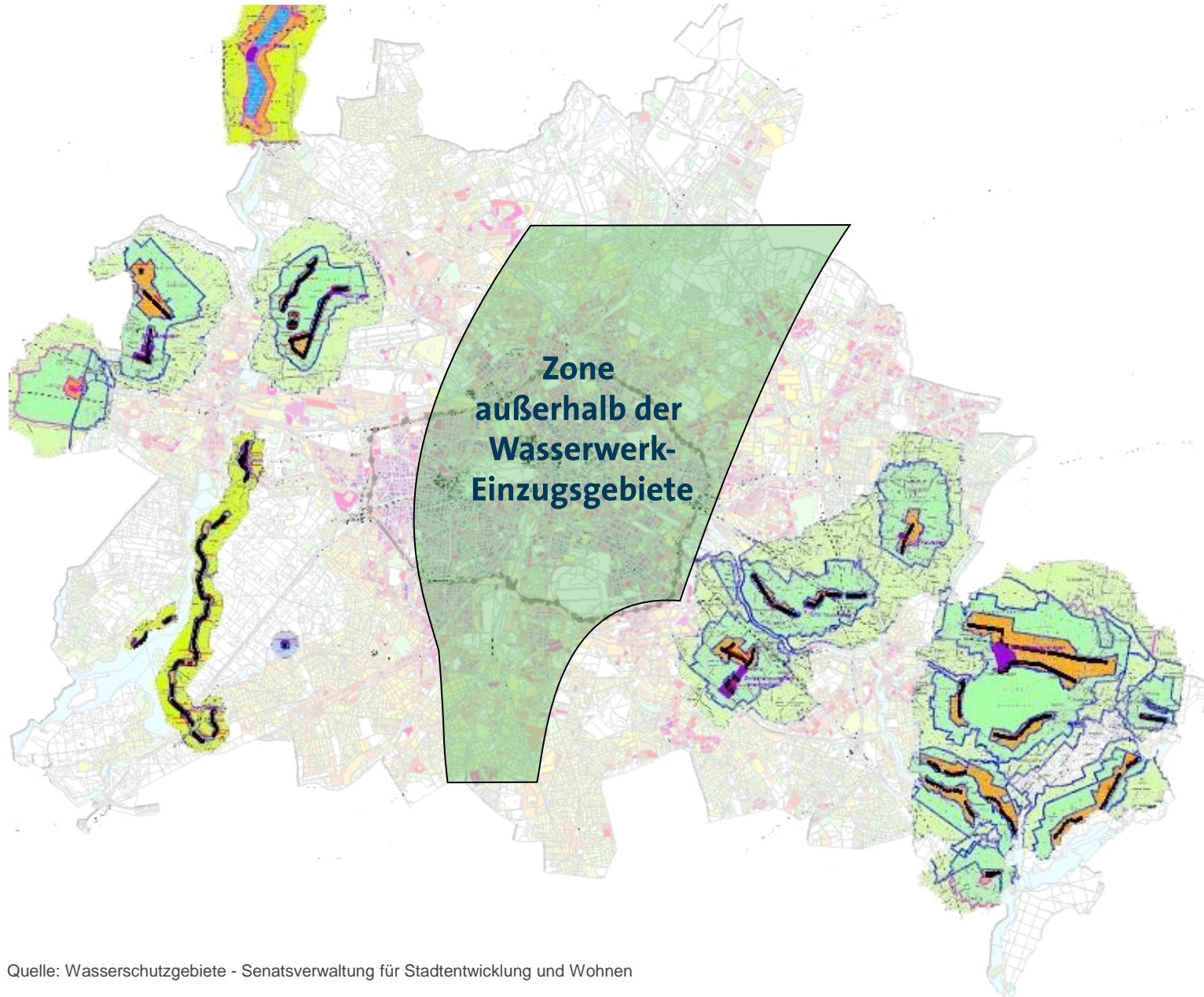
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

4

5



Maßnahmen 1

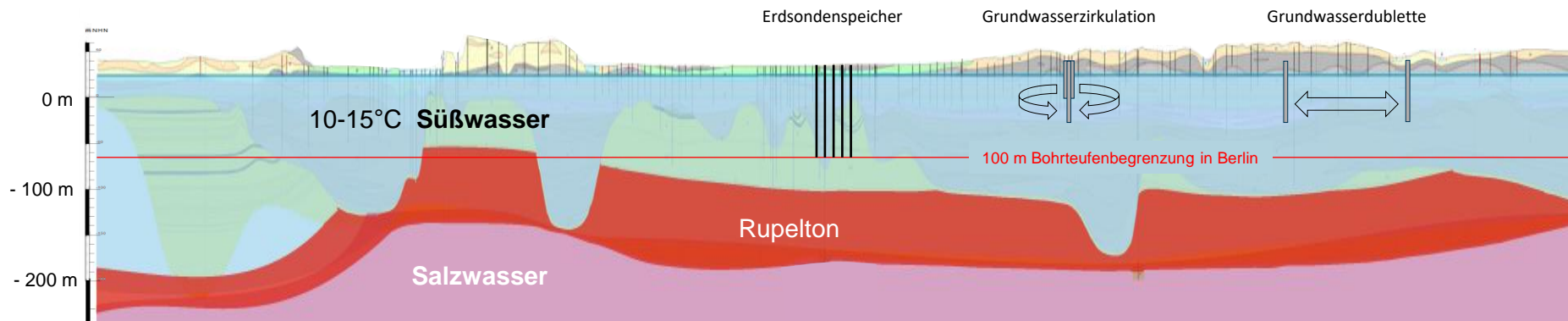
Aquiferspeicher 2

Vertikalzirkulation 3

Grundwasserschutz 4

5

Risiko „Salzwasseraufstieg“



- Maßnahmen 1
- Aquiferspeicher 2
- Vertikalzirkulation 3
- Grundwasserschutz 4**
- 5

Eine dauerhafte Perforation des Rupeltons muss vermieden werden, um keine Versalzung des Grundwassers zu verursachen

Schadstoffbelastungen des Grundwassers werden aus Kostengründen in den meisten Fällen nicht saniert, stellen aber ein Risiko für Trinkwasser dar

Während der Zirkulation des Grundwassers kann zugleich eine nachhaltige Sanierung stattfinden

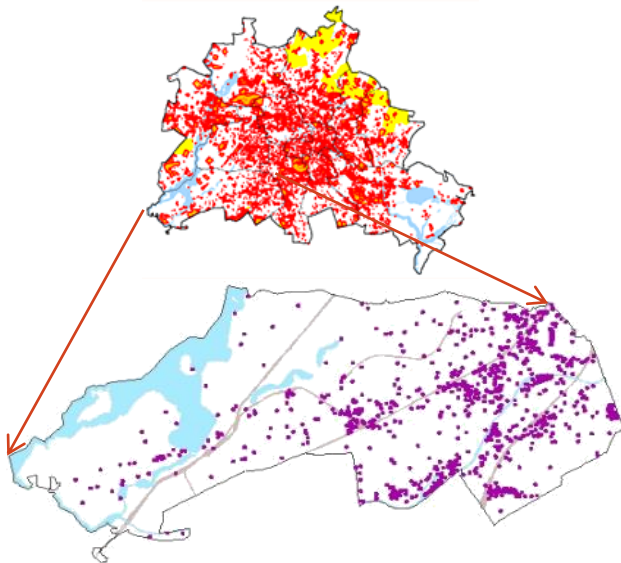
Maßnahmen 1

Aquiferspeicher 2

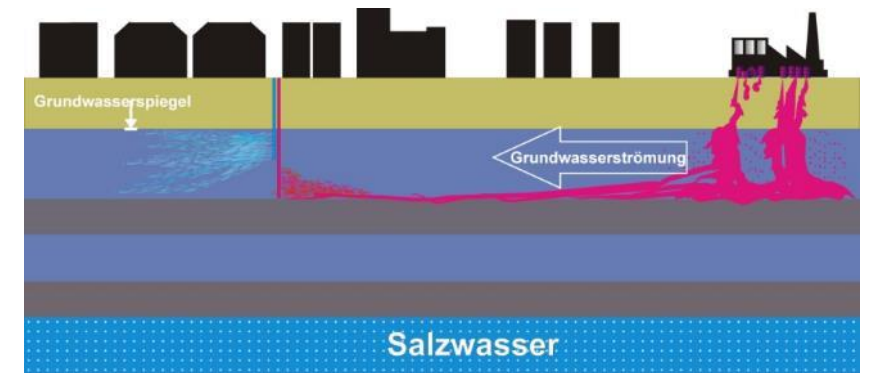
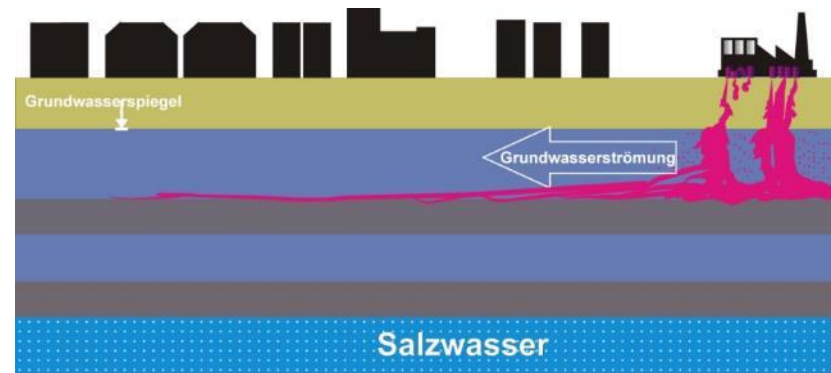
Vertikalzirkulation 3

Grundwasserschutz 4

5



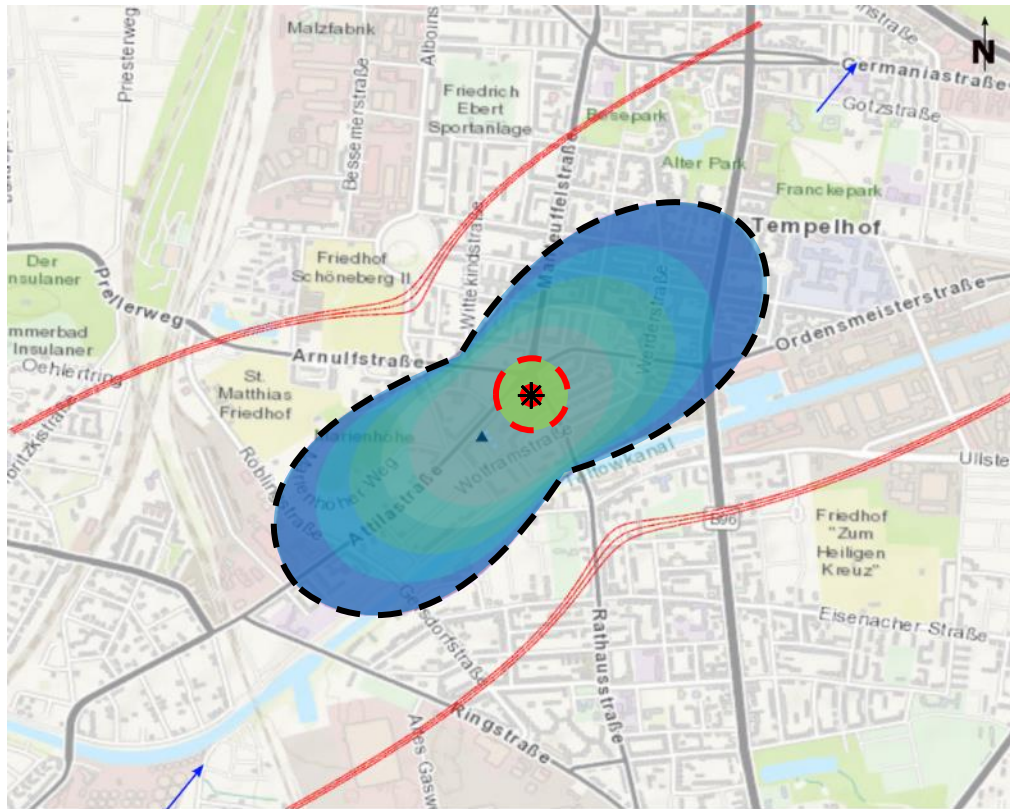
Quelle: Bodenbelastungskataster Berlin



Hydraulisch beeinflusstes Gebiet

Vergleich Brunnendubletten und Horizontalfilterzirkulationsbrunnen

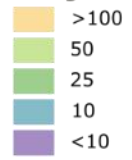
- Maßnahmen 1
- Aquiferspeicher 2
- Vertikalzirkulation 3
- Grundwasserschutz 4**
- 5



Brunnen-Dubletten
mit 220 m³/h

Horizontalfilterbrunnen
mit 350 m³/h

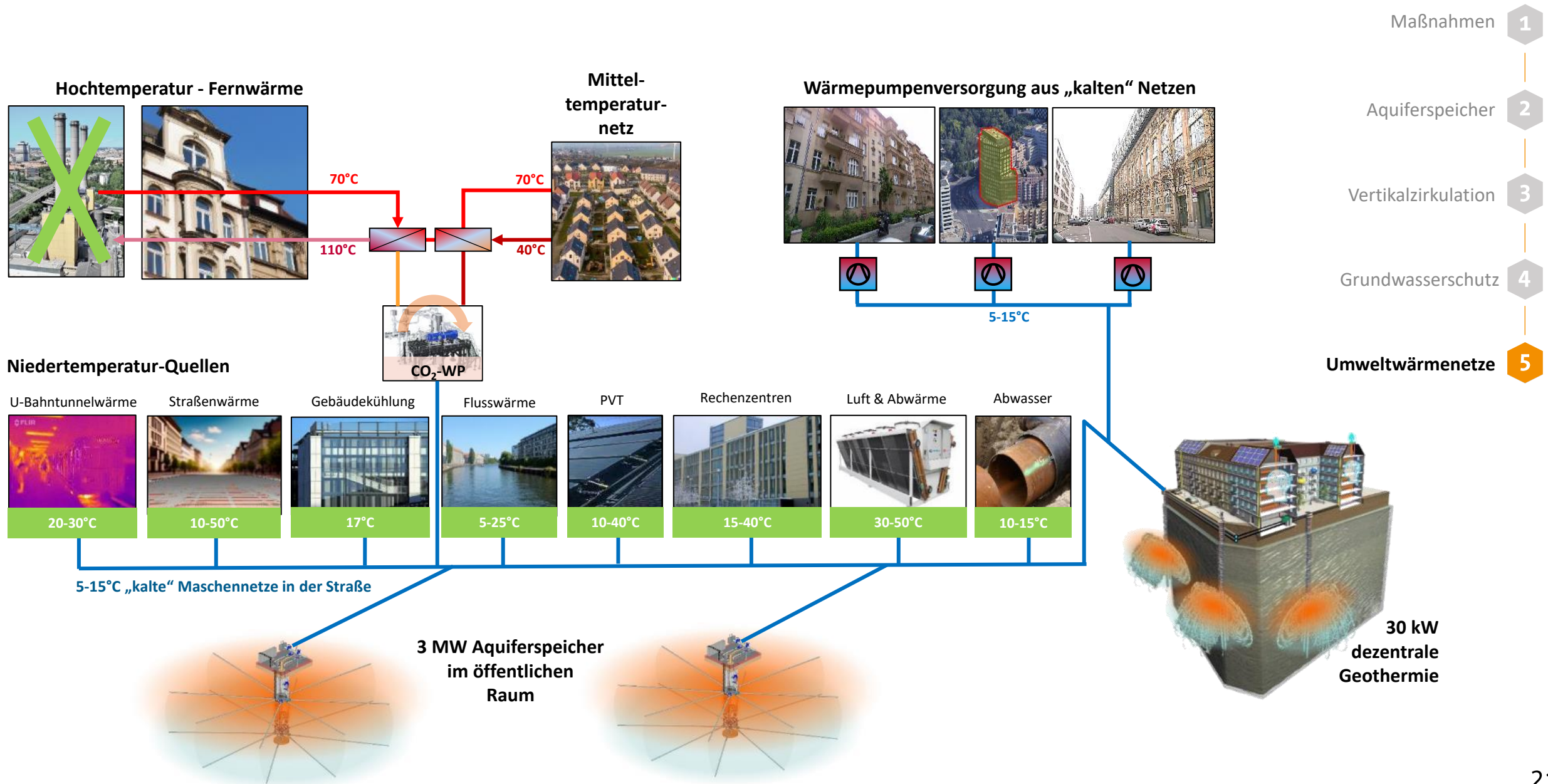
Änderung der Fließgeschwindigkeit während des Betriebes zur natürlichen Fließgeschwindigkeit [%]



Brunnenanlage

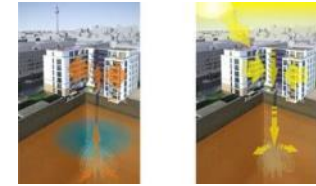
- ▲ Förderbrunnen
- Schluckbrunnen

- natürliche Grundwasserfließrichtung
- ≡≡≡ Ganglinien im Grenzbereich der Beeinflussung durch Brunnenanlage

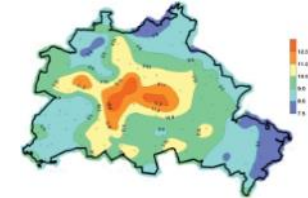


Verlustfreie saisonale Wärmespeicherung

zur Versorgung mit solarer Wärme im Winter

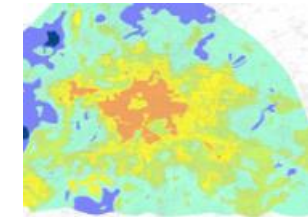


Abmilderung der urbanen Wärmeinsel (Grundwassererwärmung)
durch koordiniertes thermisches Grundwasserwärmemanagement

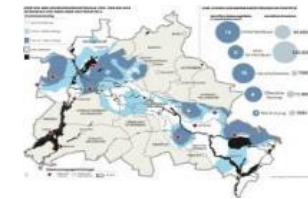


Kühlung der Stadtatmosphäre zur Klimafolgenanpassung

statt Erwärmung der Stadtatmosphäre durch Klimaanlage oder Gründachverdunstung

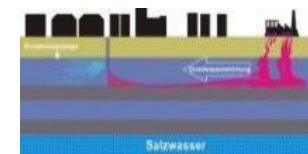


Siedlungsverträgliche Grundwasserstand-Steuerung



Grundwasserreinigung

gemäß der überfälligen Erfüllung der Auflagen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie



Kostenvergleich von Großanlagen

Erdsonden, Thermalwasseraquiferspeicher, Horizontalfilterzirkulationsbrunnen

Erdwärmesonden (100 m, Doppel-U, DN32) mit 3,5 kW/EWS kosten aktuell ca. 10 T€,
entsprechend einem **Leistungspreis von**
zuzüglich der Anbindung (z.B. 860 Erdwärmesonden für 3 MW) die mit ca. 20-30 % zu kalkulieren sind ergibt

~ 2.860 €/kW

~ **3.500 €/kW**

Hydrothermale Tiefengeothermieanlagen haben einen **Leistungspreis von**

2.500 - 2.800 €/kW*

3 MW- Horizontalfilter-Zirkulationsbrunnen haben mit 7,5 Mio Euro einen **Leistungspreis von**

~ **2.500 €/kW**

Gegenüber geschlossenen Erdwärmesonden müssen

Wartung und eventuell eintretende Neuinvestitionen bei offenen Systemen mitkalkuliert werden.

*Sass, 5.5.2023 BET2023

Wer etwas will, findet Wege. Wer etwas nicht will, findet Gründe

Vielen Dank

Michael Viernickel

mv@ezeit-ingenieure.eu

+49 152 5354 3576

eZeit Ingenieure - Michael Viernickel, M.Sc. Fabian Eichelbaum
UBV Vogtland - Dr. Ing. Thomas Daffner, Dr. Carsten Leibenath

17. Oktober 2023



Alle durch eZeit Ingenieure GmbH erstellten Inhalte und Werke, insbesondere Texte, Berechnungen, Fotografien und Grafiken soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, einschließlich der Vervielfältigung, Veröffentlichung, Bearbeitung und Übersetzung, bleiben vorbehalten, eZeit Ingenieure GmbH. Die Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und jeder Art der Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtes bedürfen der schriftlichen Zustimmung von eZeit Ingenieure GmbH und UBV GmbH.

Bilder, Textteile und andere Darstellungen dürfen nicht aus dem Kontext dieses Vortrages gerissen werden.