

Vorstellung des Energiekonzeptes

zum Vorhaben

Neues Rathaus Mitte

Auftraggeber

IBPM GmbH
Fasanenstr. 71
10719 Berlin

Berater

BLS Energieplan GmbH
EUREF-Campus 12
10829 Berlin

Berlin
16.11.2022

1. Projektvorstellung

2. Relevante Anforderungen

3. Bedarf an Wärme, Kälte und Strom

4. Energiekonzept

Offene Geothermie (Grundwasser WP)

Geschlossene Geothermie (Erdsonden WP)

Photovoltaik

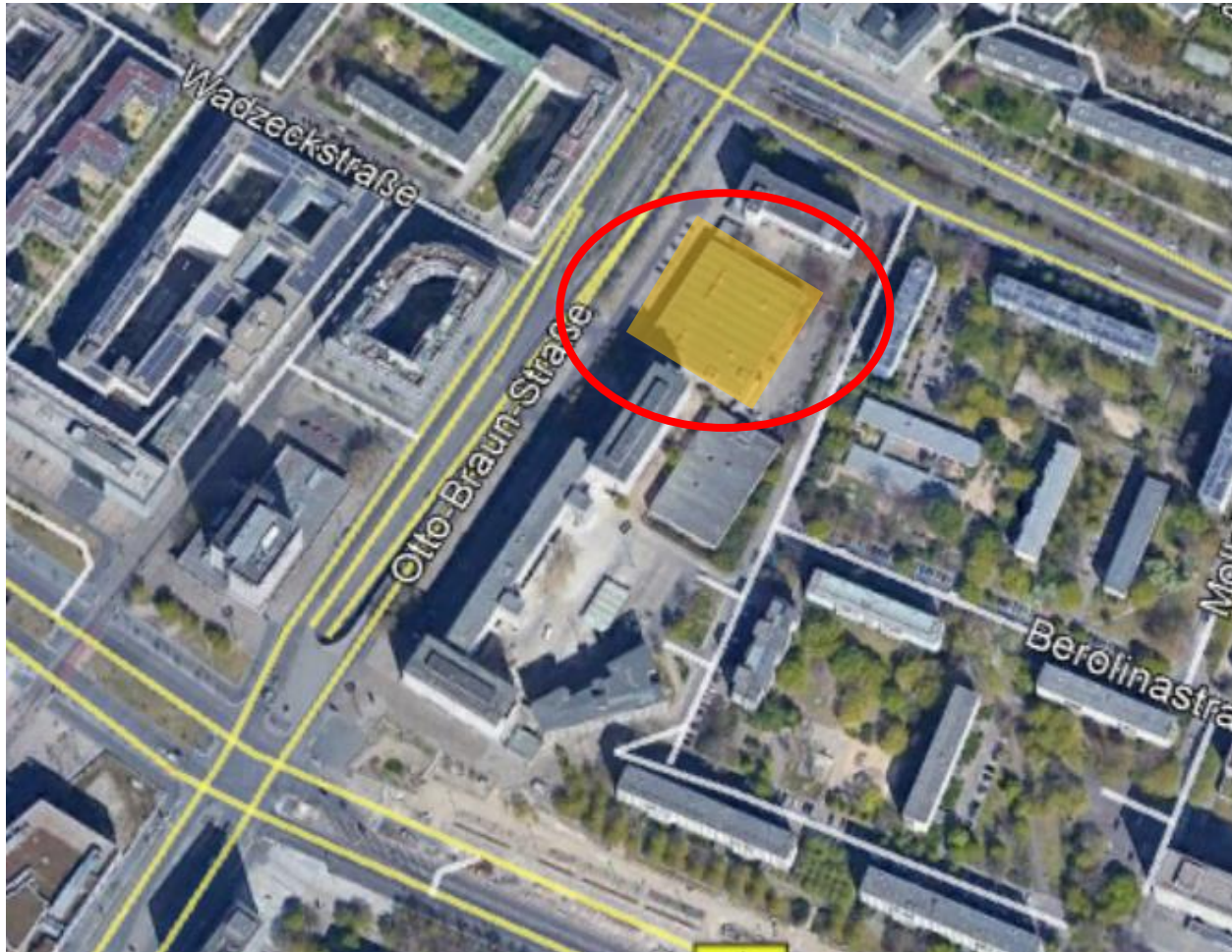
Ökologische Bewertung

5. Wirtschaftlichkeit

Kostenschätzung

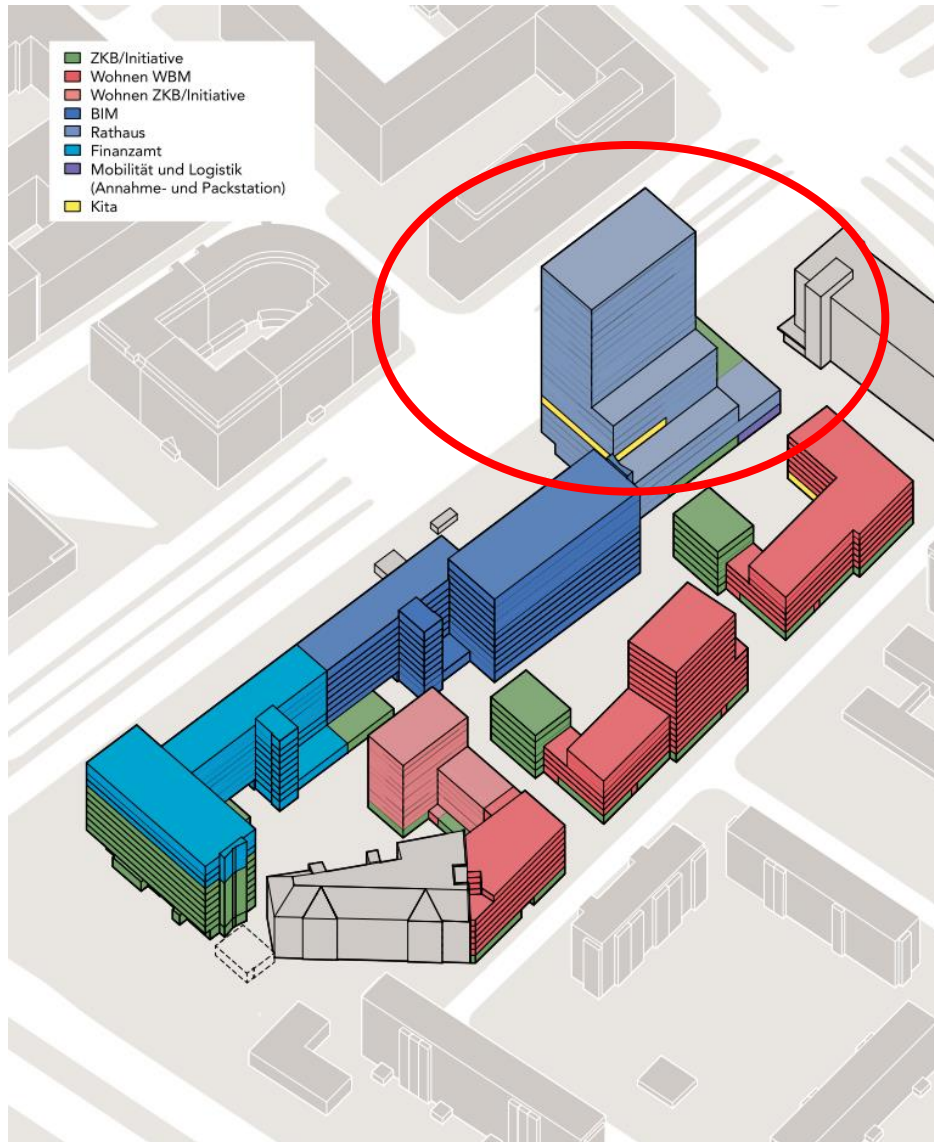
6. Fazit

1. Projektvorstellung



Quelle: Google Maps

Das Neue Rathaus Mitte soll in der Otto-Braun-Straße in Berlin-Mitte als Teil des Stadtquartiers „Haus der Statistik“ entstehen und ist 400 m nordöstlich vom Alexanderplatz entfernt



- Das Neue Rathaus Mitte soll als Teil des Stadtquartiers „Haus der Statistik“ entstehen
- Das Stadtquartier entsteht als Ort für Verwaltung, Wohnen und Soziales
- Das Neue Rathaus Mitte soll 60 Meter hoch werden
- In diesem Bericht wird der 60-Meter-Bau betrachtet

Quelle: Koop5

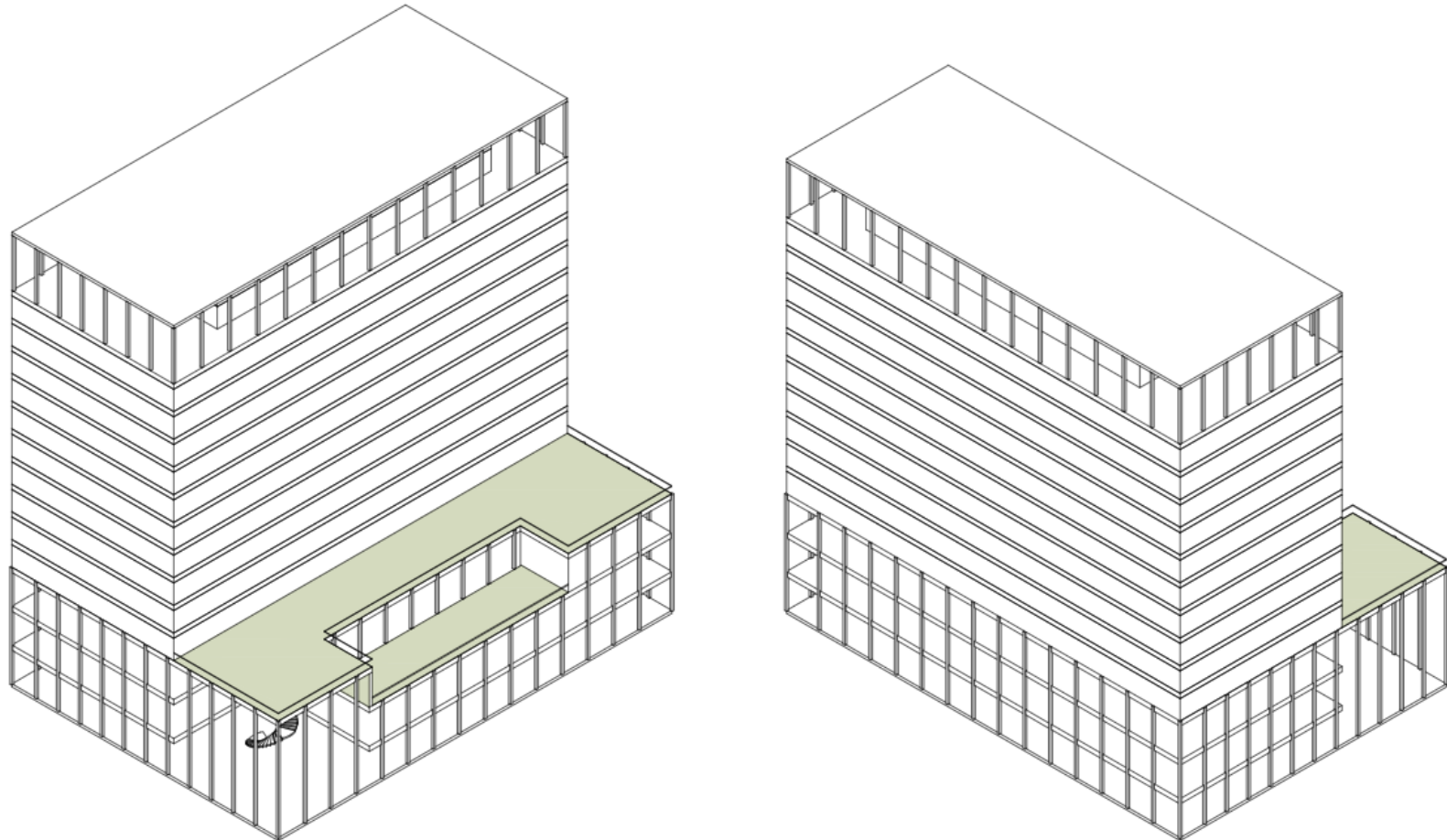
- Innovatives Konzept zur Wärme-, Kälte- und Stromversorgung der Liegenschaft mittels Geothermie und PV
- Erreichen des EGB-40-Standards nach BNB (Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen)
- Einhalten der relevanten technischen Anforderungen (nach GEG)

2. Relevante Anforderungen

Nr	Thema	Anforderung	Notwendigkeit
1	U-Werte	<ul style="list-style-type: none"> Qualitätsniveau 3 Mittelwert opak $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ Fenster $\leq 0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ 	zwingend
2	PV-Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> möglichst maximale Belegung der Dachflächen bei sinnvoller Eigennutzungsbilanz Prüfen Einsatz PV Flächen an Südfassaden 	zu prüfen
3	Lüftungskonzept	<ul style="list-style-type: none"> RLT mit WRG mind. 75% ab 8 Personen Raumbelegung Volumenstrom reine RLT Lüftung $> 36 \text{ m}^3/\text{Ph}$ 	zwingend
4	Heizenergie	<ul style="list-style-type: none"> Zielwert: Kein gesondertes Ziel Einhaltung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG/EGB40 	zwingend
5	Warmwasserversorgung	<ul style="list-style-type: none"> Zielwert: Endenergie $10 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ dezentral ohne Zirkulation 	zwingend
6	Kälteversorgung	<ul style="list-style-type: none"> Zielwert: Kein gesondertes Ziel Einhaltung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG/EGB40 	zwingend
7	Strombedarf	<ul style="list-style-type: none"> Zielwert: Endenergie $20 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Einhaltung des Jahres-Primärenergiebedarfs nach GEG/EGB40 	zwingend

Tabelle 1: Relevante Anforderungen für das Energiekonzept

3. Bedarf an Wärme, Kälte und Strom



Quelle: STP

→ Für die weitere Betrachtung wird die Gebäude-Variante 2 (Best Case Variante) betrachtet

Heizenergiebedarf:

Heizleistung pro Nettogeschossfläche: 30 W/m² (BLS)

Vollbenutzungsstunden: 1.650 h/a (BLS)

Kältebedarf:

Kälteleistung pro Nettogeschossfläche: 40 W/m² (BLS)

Vollbenutzungsstunden: 800 h/a (BLS)

Warmwasserenergiebedarf:

Energieverbrauch pro Nettogeschossfläche und Jahr: 10 kWh/(m²*a) (MNP Ingenieure)

Strombedarf:

Energieverbrauch pro Nettogeschossfläche und Jahr: 20 kWh/(m²*a) (MNP Ingenieure)

	Einheit	Kennzahlen	Datenherkunft
Bruttogeschossfläche	m ²	32.292	Machbarkeitsstudie STP
Nettogeschossfläche	m ²	19.453	Machbarkeitsstudie STP
Grundfläche	m ²	3.121	Machbarkeitsstudie STP
Heizenergiebedarf	MWh/a	963	Eigene Berechnung
Warmwasserenergiebedarf	MWh/a	195	Berechnung nach MNP
Kältebedarf	MWh/a	623	Eigene Berechnung
Strombedarf*	MWh/a	389	Berechnung nach MNP

Tabelle 3: berechnete Energiebedarfe für Gebäudevariante 60m

* ohne Wärmepumpen- und KKM-Verbrauch

4. Erzeugungskonzept









Kriterien Technologiematrix

Bewertungsaspekt	Beschreibung
Verfügbares Potenzial	Ist Wärmepotenzial verfügbar? Ist es zugänglich? Sind Aufstellflächen vorhanden?
Unwägbarkeiten	Ist mit Unwägbarkeiten bei der Erschließung des Potenzials zu rechnen?
Wirtschaftlichkeit	Ist die Technologie wirtschaftlich einsetzbar?
Technische Eignung	Lässt sich der Einsatz der Technologie nach Bedarf steuern? Lässt sich die Technologie technisch umsetzen (Systemtemperaturen)?
Genehmigungsanforderungen	Ist die Umsetzung der Technologie genehmigungsfähig?
Umweltaspekte	Wie stark wird die Umwelt durch die Technologie belastet?

Anmerkung

Wird ein Aspekt in der Technologiematrix rot markiert, gilt dies als Ausschlusskriterium

		Luft-WP	Grundwasser-WP	Erdsonden-WP	100 % Fernwärme	Power-to-Heat	Biogas-BHKW
Verfügbares Potential		●	●	●	●	●	●
Unwägbarkeiten		●	●	●	●	●	●
Kosten		●	●	●	●	●	●
Technische Eignung		●	●	●	●	●	●
Genehmigungsfähigkeit		●	●	●	●	●	●
Umweltaspekte		●	●	●	●	●	●

→ Die Grundwasser- und Erdsonden-Wärmepumpe werden im Weiteren genauer untersucht

Luft-Wärmepumpe

Die Luftwärmepumpe ist aufgrund des geringen technischen Platzangebots auf dem Gebäude nicht weiterzuverfolgen.

Grundwasser-Wärmepumpe (offene Geothermie)

Eine Grundwasser-Wärmepumpe bietet ein hohes thermisches Potential, jedoch sind hohe regulatorische Hürden zu beachten.

Erdsonden-Wärmepumpe (geschlossene Geothermie)

Eine Erdsonden-Wärmepumpe ist im Vergleich zur Grundwasser-WP regulatorisch einfacher umsetzbar, jedoch ist das thermische Potential niedriger.

Fernwärme

Die reine Versorgung des Quartiers mit Fernwärme erfüllt derzeit die ökologischen Kriterien nicht. Keine Erzeugung von Kälte möglich.

Power-to-Heat (PtH)

Direkte Stromheizungen sind nicht wirtschaftlich (Betriebskosten) und erfüllen die hohen ökologischen Kriterien nicht. Es ist keine Erzeugung von Kälte mit PtH-Anlagen möglich.

Biogas-BHKW

Hohe Brennstoffkosten und technisch nicht sinnvoll, da keine Kälte erzeugt werden kann. Hoher Aufwand durch Schallemissionen, Vibration und benötigten Schornstein für Abgase.

→ Im Folgenden wird ausschließlich die geschlossene und offene Geothermie betrachtet

Variante 1 – offene Geothermie:

Wärme: **Wärmepumpen über Grundwasserbrunnen** (Schluck- und Saugbrunnen) +
Fernwärme

Kälte: **Wärmetauscher über Grundwasserbrunnen** (Schluck- und Saugbrunnen) +
Kompressionskältemaschine (KKM)

Das Grundwasser aus dem Saugbrunnen dient dabei als Wärmequelle zum Heizen und das Grundwasser aus dem Saugbrunnen als Kältequelle für den Kühlbetrieb. Die Saug- und Schluckbrunnen können gebäudenah vor dem Rathaus Mitte realisiert werden.

Variante 2 – geschlossene Geothermie:

Wärme: **Wärmepumpen über Erdwärmesonden** +
Fernwärme

Kälte: **erdgekoppelte Wärmepumpen über Erdwärmesonden** +
Kompressionskältemaschine (KKM)

Die Erdsonden können unterhalb des Gebäudes als auch auf der vorhandenen Grundstückfläche realisiert werden.
(**Wichtig:** Die hier benannten Varianten sind nicht mit den vorherig dargestellten Gebäudevarianten zu verwechseln)

Variante 1:

- Gewässerbenutzungen bedürfen nach § 8 WHG einer wasserbehördlichen Erlaubnis bei der SenUVK
- § 9 Abs. 2 Nr. 2 des WHG beachten
- Wasserwirtschaftliche Beurteilung erfolgt nach § 37a Berliner Wassergesetz

Variante 2:

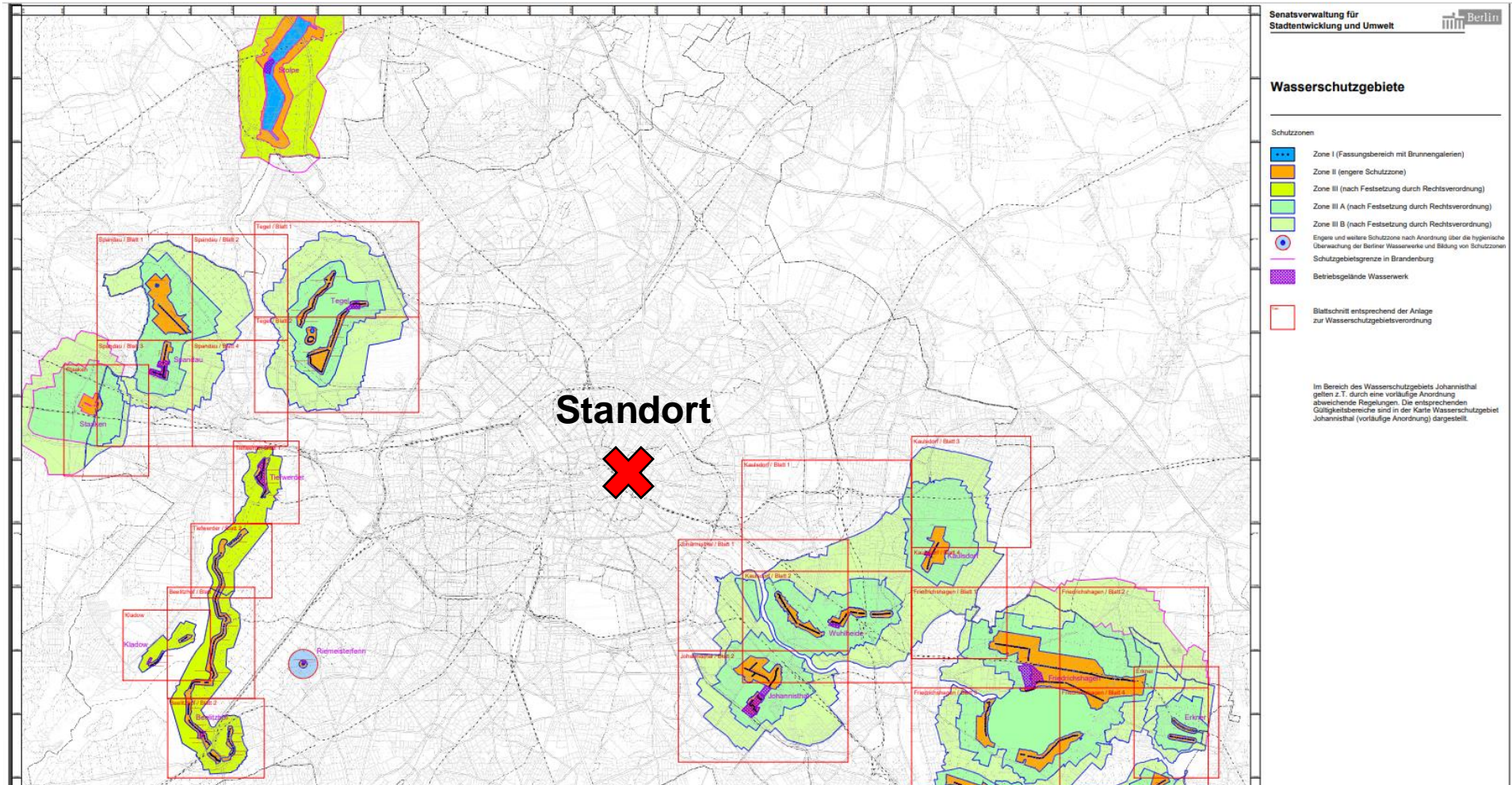
- Der Mindestabstand zwischen Bestandsanlagen (Sonden) soll 10 m betragen
- Der Mindestabstand zwischen den „eigenen“ Sonden soll min. 6 m betragen (d.h. 36 m² pro Sonde), bei einem Sondenfeld 8 m (d. h. 64 m² je Sonde)

Variante 1 + Variante 2:

- In Wasserschutzgebieten ist die geothermische Nutzung des Trinkwassers grundsätzlich verboten
- Für die Antragsstellung ist eine Vordimensionierung mit 1800 oder 2400 Vbh vorzulegen
- Die aus dem Boden entnommene Wärmemenge darf die in den Boden gegebene Wärmemenge in der Jahresbilanz übersteigen, die in den Boden gegebene Wärmemenge muss jedoch innerhalb eines Jahres wieder vollständig entnommen werden

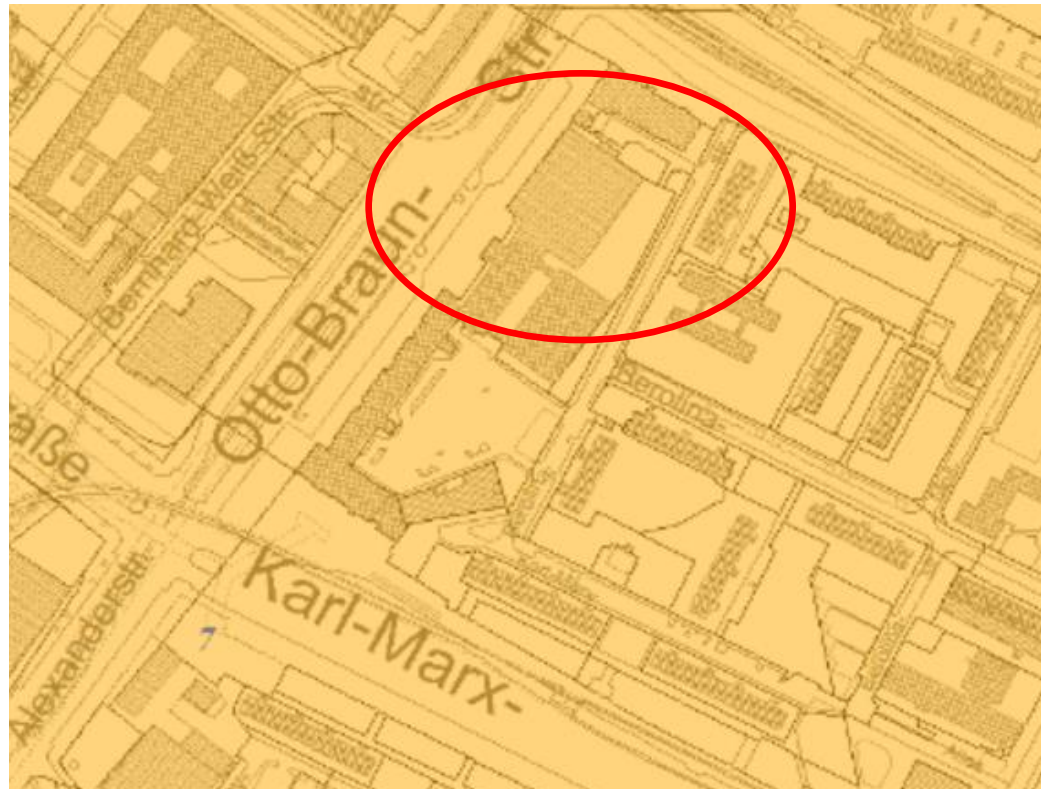
Damit offene und geschlossene Geothermie möglich ist muss geprüft werden,

- ob der Standort in einem Wasserschutzgebiet liegt (relevant für offene und geschlossene Geothermie)
- wie hoch die zu erwartende Temperatur des Grundwassers ist (relevant für offene Geothermie)
- wie groß der Flurabstand d.h. der Abstand zwischen Erdoberfläche und Grundwasseroberfläche ist (relevant für offene Geothermie)
- in welche Richtung das Grundwasser im Untergrund fließt (relevant für offene Geothermie)
- wie hoch die spezifische Wärmeentzugsleistung im Boden ist (relevant für geschlossene Geothermie)

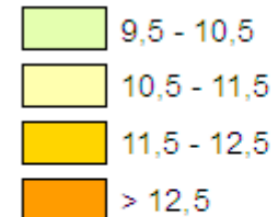


Quelle: SenUVK

Der Standort liegt nicht im Berliner Wasserschutzgebiet, was die Grundvoraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit der Anlage (geschlossene und offene Geothermie) bedeutet



Grundwassertemperatur in °C



----- Temperaturgrenze unsicher

• Messstelle mit Messwert

▲ Messstelle mit extrapoliertem Wert

Quelle: SenUVK

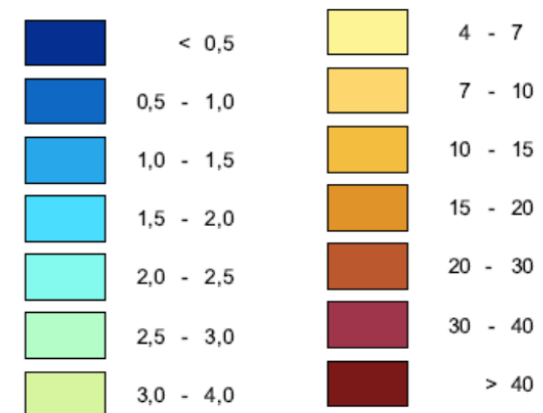
Die Grundwassertemperatur beträgt in 0 m bis 100 m Tiefe im Durchschnitt 11,5 bis 12,5 °C
(die durchschnittl. Grundwassertemperatur in dieser Tiefe beträgt in Deutschland 10 bis 12 °C)
→ Hohes thermisches Potential des Bodens



Legende

Flurabstand des Grundwassers 2009 differenziert (Umweltatlas)

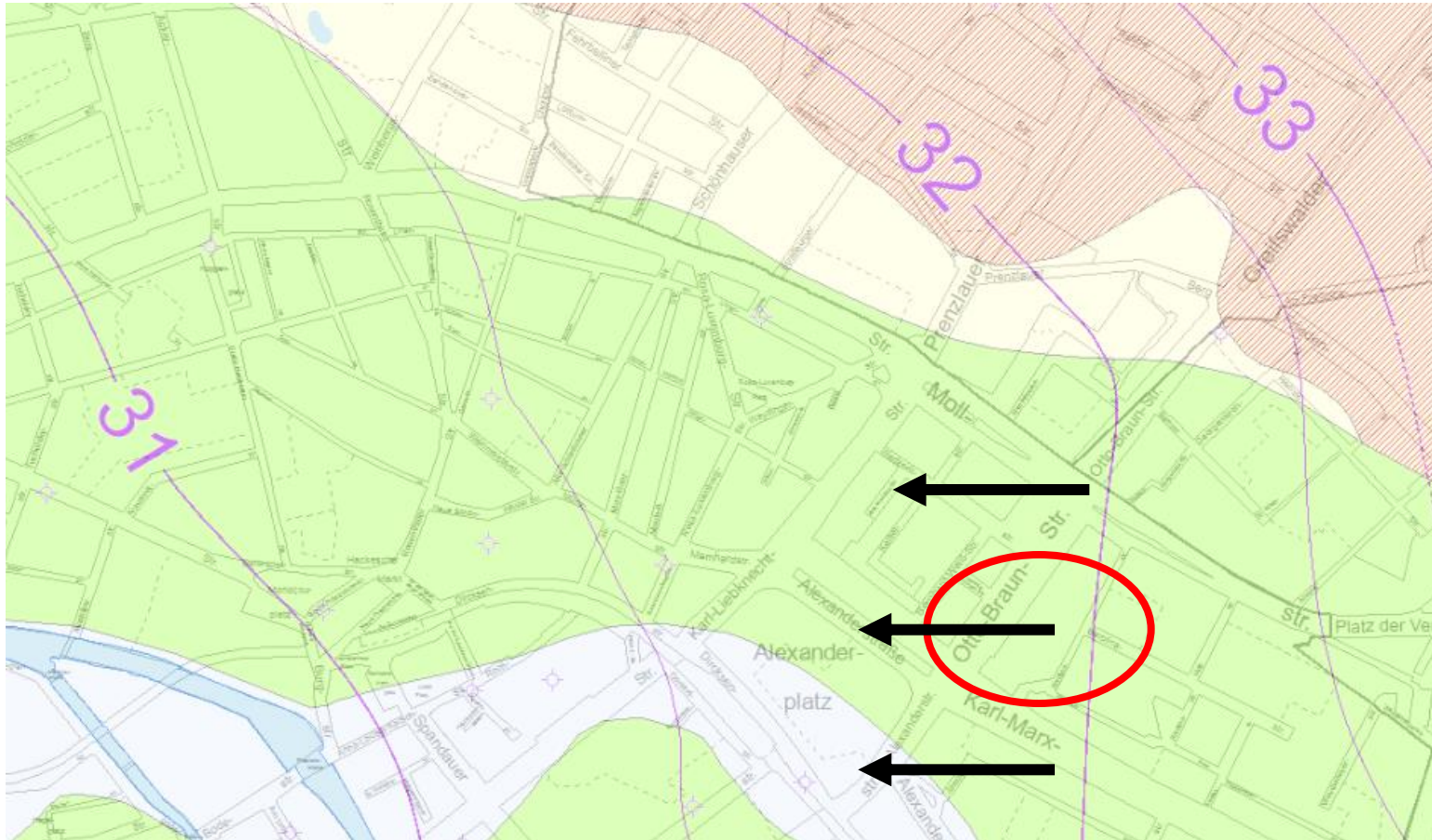
Flurabstand (m)



Quelle: SenUVK

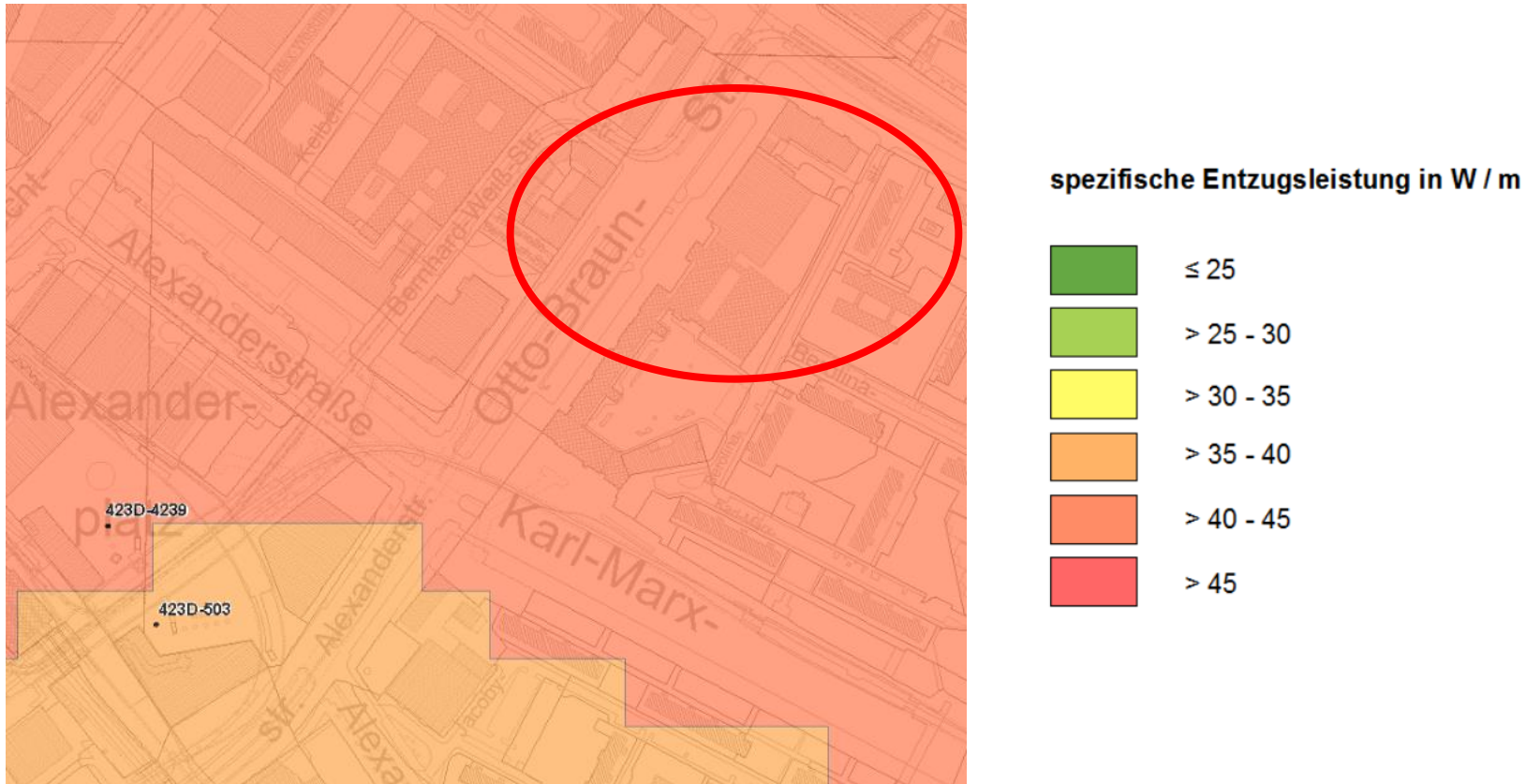
Der Flurabstand d.h. der Abstand zwischen der Erdoberfläche und der Grundwasseroberfläche beträgt nur wenige Meter

→ das wirkt sich positiv auf den Pumpenergieaufwand bei offener Geothermie aus



Quelle: SenUVK

- Anhand der Grundwassergleichen lässt sich die Fließrichtung des Grundwassers feststellen
- Demnach fließt das Grundwasser von Osten nach Westen (orthogonal zu den Grundwassergleichen, von hohen zu niedrigen Werten)



Quelle: SenUVK

Bei einer Bohrtiefe bis zu 80 m ist eine spezifische Entzugsleistung von bis zu 40 bis 45 W/m möglich (es handelt sich dabei um über die Bohrtiefe gemittelte Entzugsleistung)

Stoff	Einheit	Grenzwerte Ochsner-WT*	Grundwasser Messwerte**	Beurteilung
Chlorid	mg/l	< 105	-	keine
Chlor	mg/l	< 5	78,00	Wert überschritten
Sulfat	mg/l	< 100	324,5	Wert überschritten
Eisen	mg/l	< 1,0	-	keine
Sulfide	mg/l	-	-	keine
Ammonium	mg/l	< 1,0	0,01	Wert eingehalten
el. Leitfähigkeit	µS/cm	800	1278	Wert überschritten

Tabelle 3: Vergleich der Einsatzgrenzen für einen Ochsner-WT und der Messwerte von einer nahegelegene Messstelle

Schlussfolgerungen:

- Absprache mit WT-Hersteller über Einsatzgrenzen nötig
- Aktuelle Grundwassermesswerte mit tatsächlicher Bohrtiefe vom Standort zur abschließenden Beurteilung notwendig

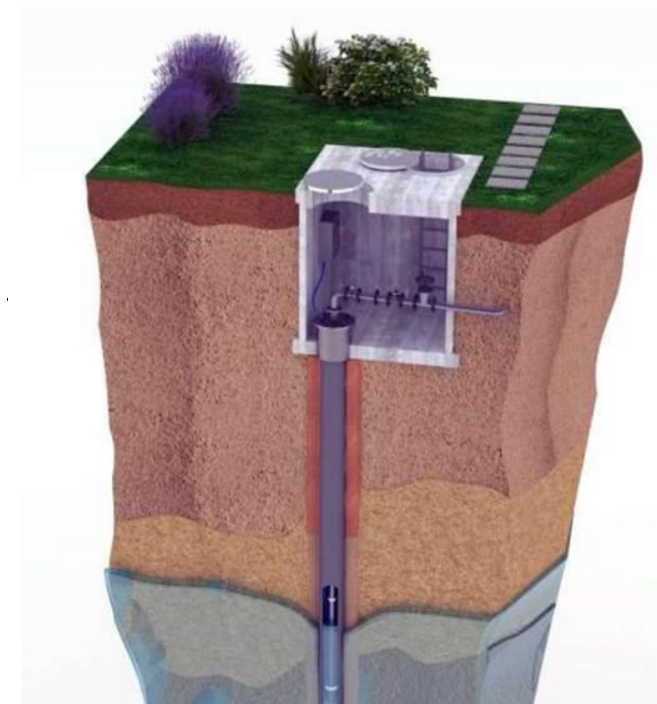
* OCHSNER IWWWS 460 R2a

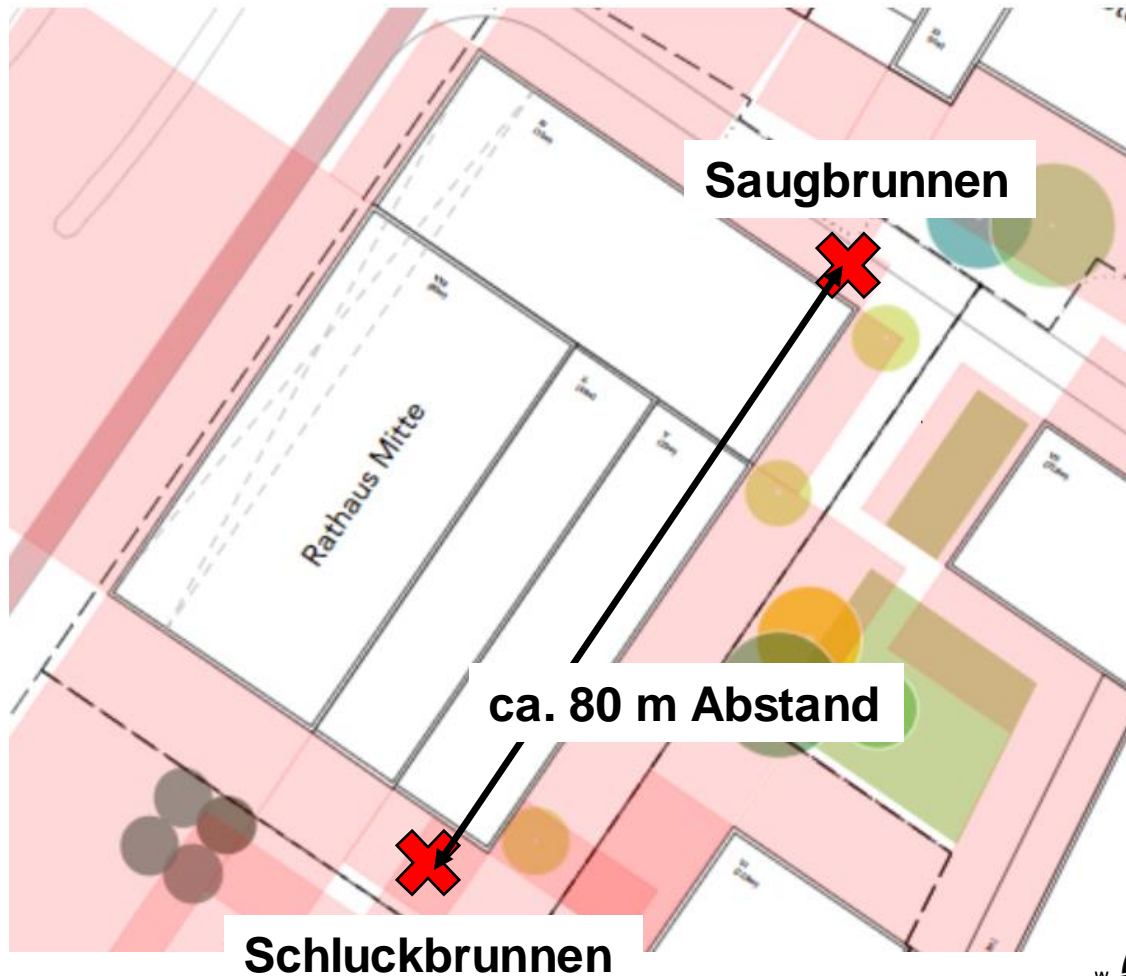
** Bohrloch 5056, Quelle: SenUVK

Offene Geothermie (Grundwasser Wärmepumpe)

- Bei der Nutzung einer Grundwasser-Wärmepumpe wird Grundwasser direkt in einer Wärmepumpe genutzt, deshalb spricht man von **offener Geothermie**
- Bei der offenen Geothermie wird Grundwasser über einen sogenannten **Saugbrunnen** aus dem Boden angesaugt, die Wärme des Grundwassers in einer Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und das Grundwasser wieder anschließend über einen **Schluckbrunnen** in den Boden gepumpt
- Die beiden Brunnen müssen dabei so angeordnet werden, dass es nicht zu einem hydraulischen Kurzschluss kommt. Die Anordnung von Schluck- und Saugbrunnen ist abhängig von der Grundwasserfließrichtung
- Die beiden Brunnenschächte sind in etwa 3 m breit, 2-3 m hoch und 2 m tief, d.h. es ist mit einer versiegelten Fläche von ca. 6 m² pro Brunnen(-Schacht) zu rechnen
- Die Anlage kann sowohl zum Heizen in dem Wintermonaten als auch zum Kühlen in den Sommermonaten genutzt werden

Darstellung eines Schluck- oder Saugbrunnens



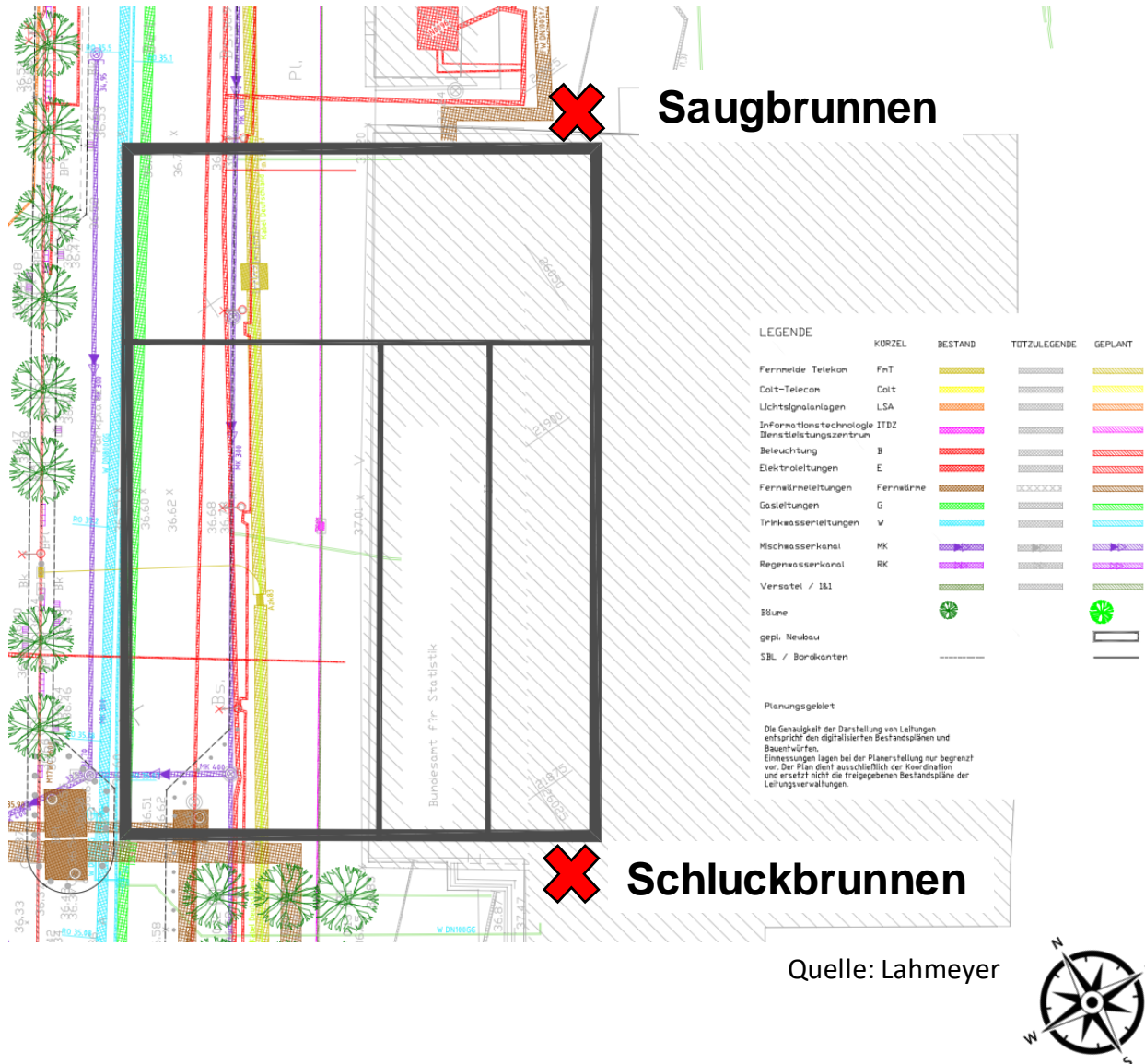


Quelle: Koop5



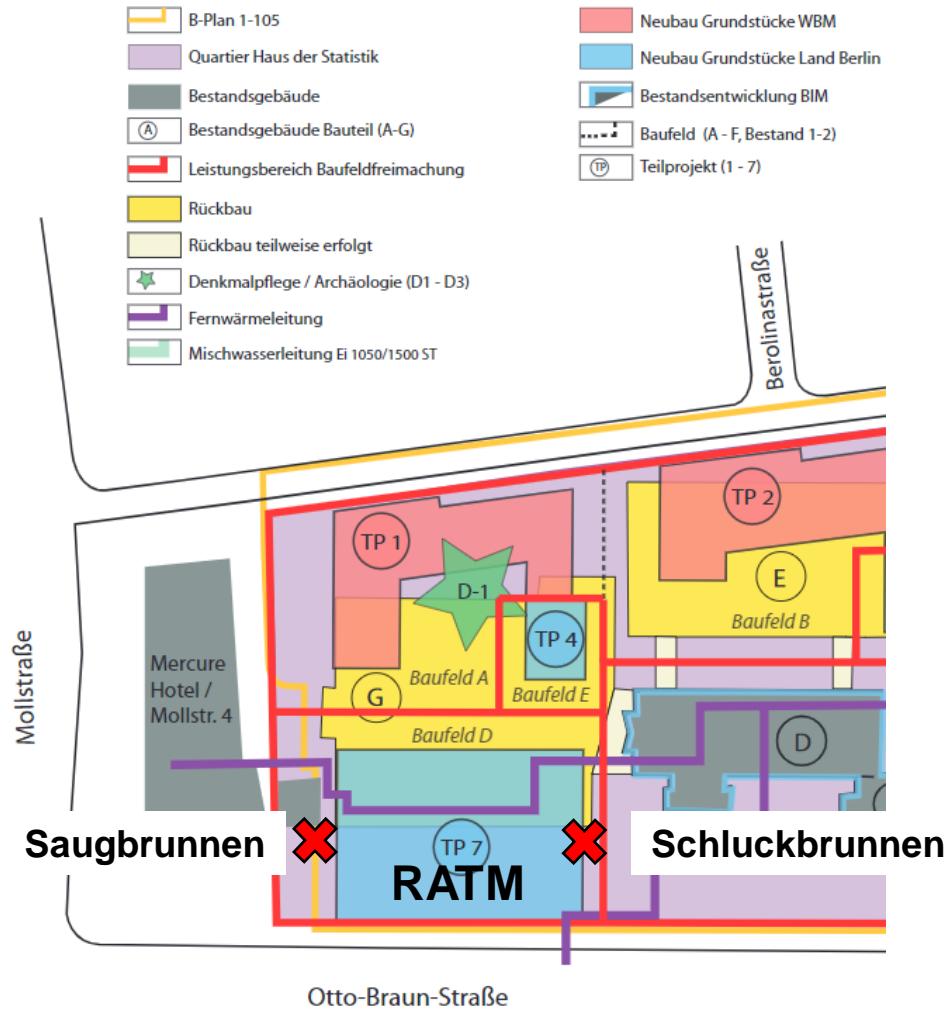
- Saug- und Schluckbrunnen können wie linksstehend vorgeschlagen verortet werden
- Der Abstand beider Brunnen könnte so ca. 80 m betragen
- Als Alternativstandort lässt sich der Platz nördlich vom RATM ausmachen
- Die Luftlinie zwischen Saug- und Schluckbrunnen liegt annähernd orthogonal zur Grundwassertrift
- Hierdurch wird die Möglichkeit eines hydraulischen Kurzschlusses deutlich reduziert

Bestand der unterirdischen Versorgungsleitungen



- Nach Bestand der unterirdischen Versorgungsleitungen können der Saug- und Schluckbrunnen wie vorgeschlagen verortet werden

Geplante Fernwärmeleitungen



Quelle: WBM



- Saug- und Schluckbrunnen können unter Berücksichtigung der geplanten Fernwärmeleitungen an den vorgeschlagenen Stellen verortet werden

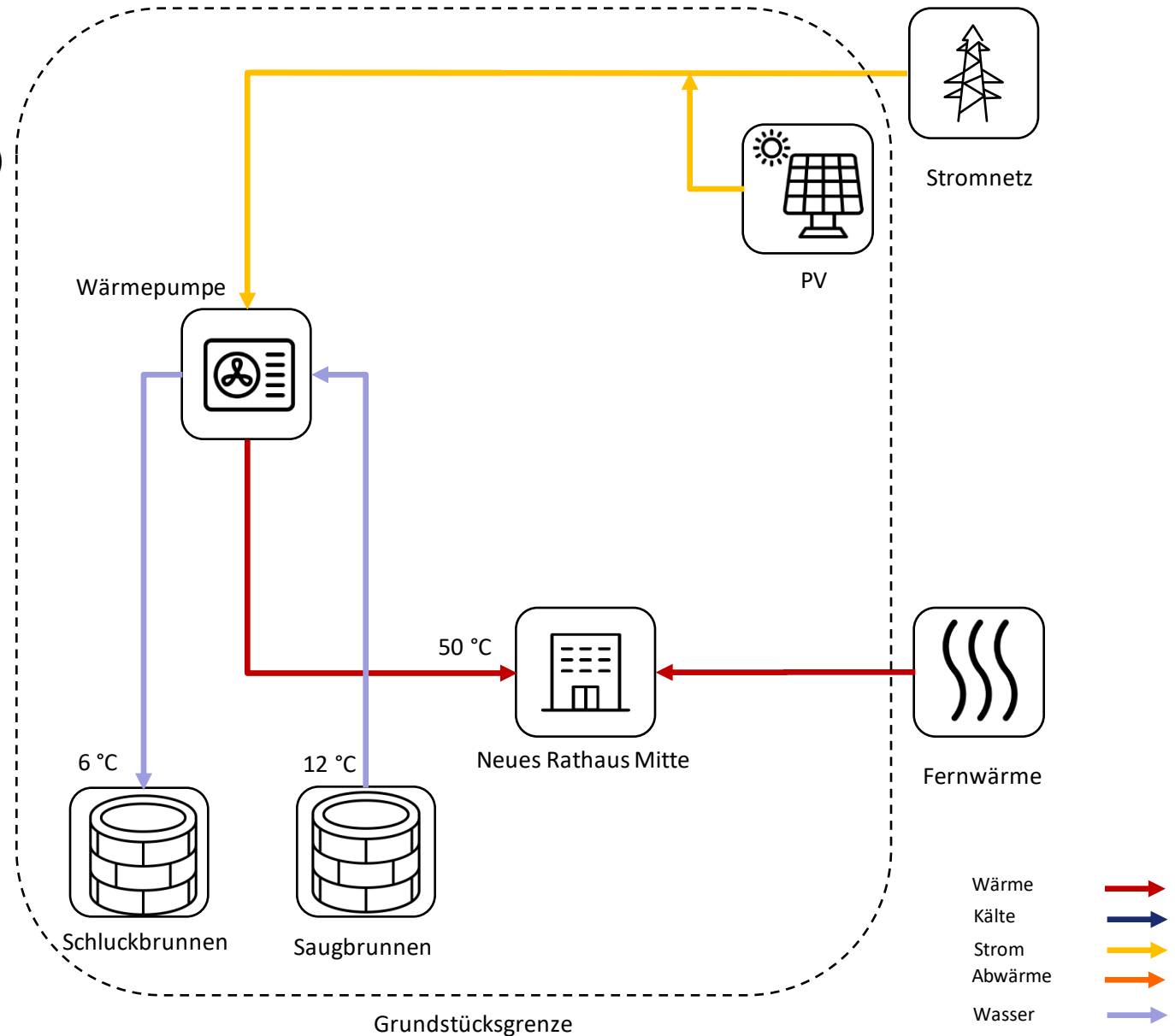
Variante 1:

Wärme: Wärmepumpe (Grundwasser)

+ Fernwärme

Beschreibung:

- Grund-& Mittellast Wärme: Wärmepumpe (Grundwasser)
- Spitzenlast Wärmeerzeugung: Fernwärme
- Stromversorgung über Netzbezug und PV

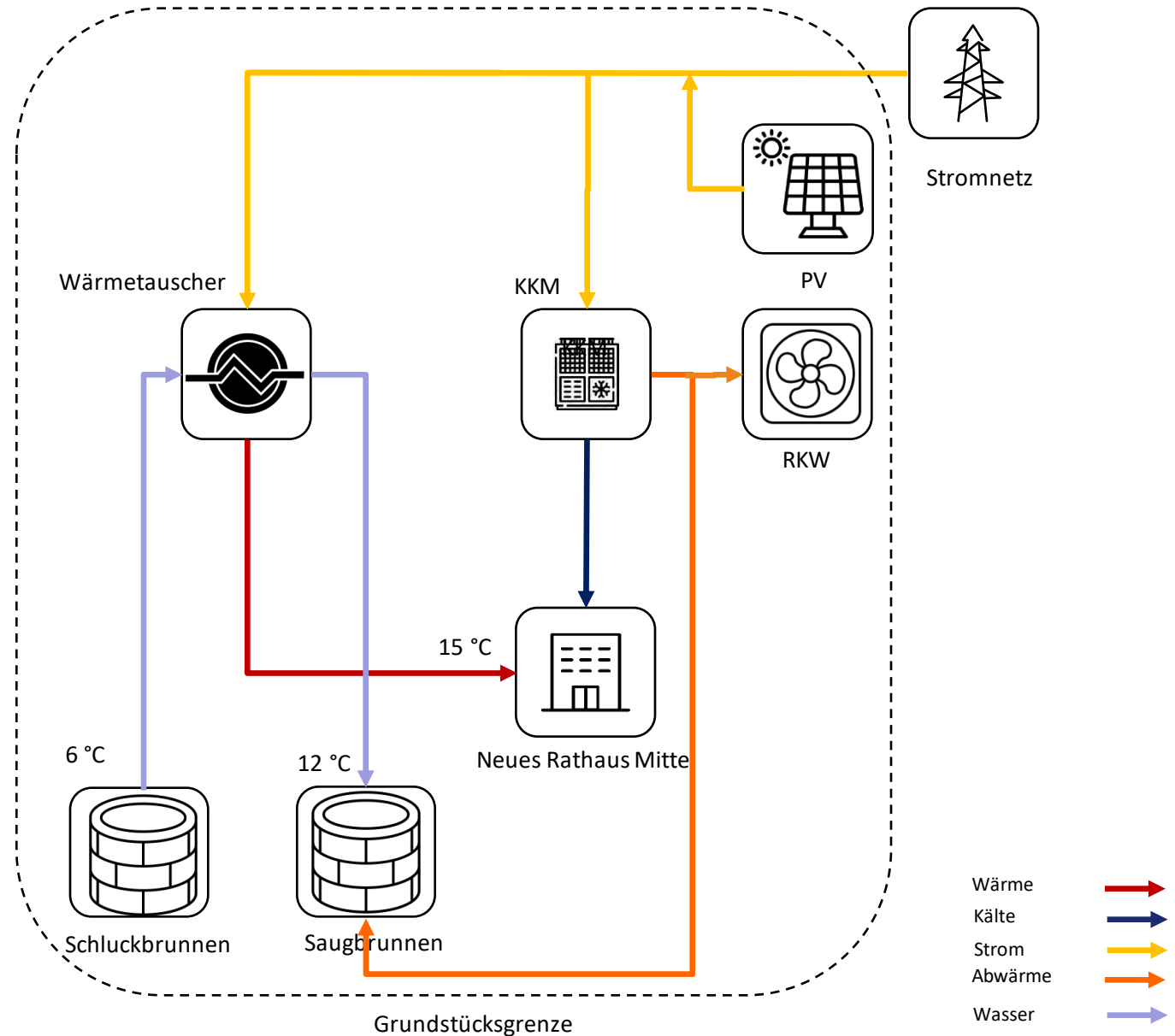


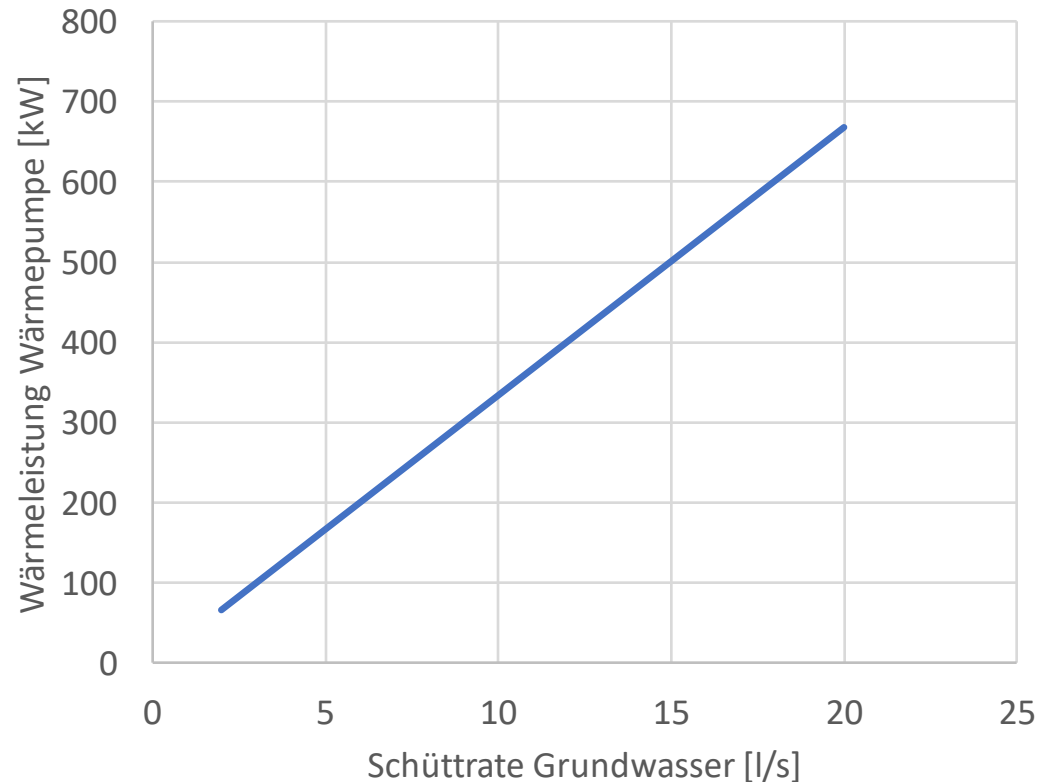
Variante 1:

Kälte: Wärmetauscher (Grundwasser)
+ Kompressionskältemaschine (KKM)

Beschreibung:

- Grund-& Mittellast Kälte: Wärmetauscher
- Spitzenlast Kälteerzeugung: KKM
- Speicherung der Restwärme der KKM im Saugbrunnen (Regeneration des Bodens)
- Stromversorgung über Netzbezug und PV





Annahmen:

T_{ein} : 12 °C (siehe Folie: Geothermie – Durchschnittstemperatur des Grundwassers in 0 m - 100 m Tiefe)

T_{aus} : 6 °C

Spez. Wärmekapazität: 4,19 J/(g*K)

Dichte Wasser: 998 g/l

COP Wärmepumpe: 4

- Am gegebenen Standort sind ca. 12 l/s Schüttrate machbar und damit eine Wärmeleistung von 400 kW (Abschätzung aus ähnlichem BLS Projekt)
- Die Wärmeerzeugungsleistung der Grundwasserwärmepumpe ist maßgeblich abhängig von der Schüttrate des Grundwasserbrunnen

Geschlossene Geothermie (Erdsonden WP)

Eine Erdwärmesonde ist ein Erdwärmeübertrager in dem eine Wärmeübertragerflüssigkeit zirkuliert.

Der am weitesten verbreitete Typ einer Erdwärmesonde besteht aus parallel laufenden Polyethylen-Kunststoffrohren, von denen jeweils zwei am unteren Ende über ein U-förmiges Fußteil verbunden sind.

Die Rohre werden in einem geschlossenen Kreislauf von einer Sole, einem Gemisch aus Wasser und Frostschutzmittel, durchströmt. Daher spricht man von **geschlossener Geothermie**.

Mit der Erdwärmesonde wird dem Erdreich Wärme entzogen oder zugeführt. Mit Hilfe einer Wärmepumpe kann das Temperaturniveau der oberflächennahen Geothermie erhöht werden, um die Wärme in den Wintermonaten zur Gebäudeheizung nutzen. In den Sommermonaten können Erdwärmesonden zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden.

Anforderungen:

- Die Mindestabstände der Erdsonden zu Abwasseranlagen, Fernwärmeleitungen und Anlagen mit wassergefährdenden Stoffen muss eingehalten werden
- Zu übrigen Leitungen muss ein Abstand von mind. 1 m gewahrt werden
- Zu bestehenden Gebäuden besteht ein Mindestabstand von 2 m
- Alle Erdwärmeanlagen sind nach Inbetriebnahme/Austausch von Anlagenteilen/ Wärmeträgerflüssigkeit alle 5 Jahre zu kontrollieren

→ Die Anforderungen werden nach derzeitigen Stand erfüllt

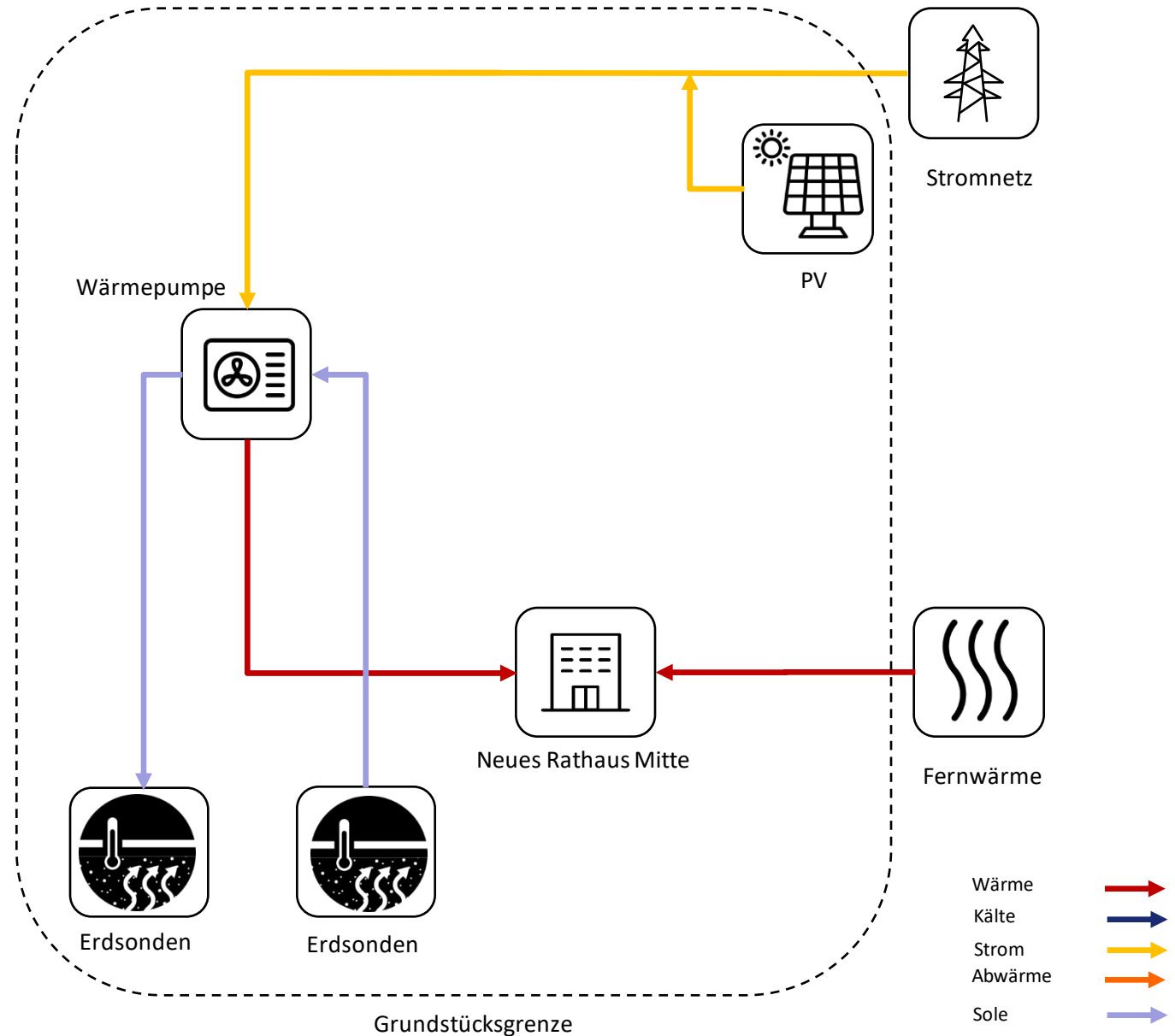
Variante 2:

Wärme: Wärmepumpe (Erdsonde)

+ Fernwärme

Beschreibung:

- Grund-& Mittellast Wärme: Wärmepumpe (Erdsonde)
- Spitzenlast Wärmeerzeugung: Fernwärme
- Stromversorgung über Netzbezug und PV

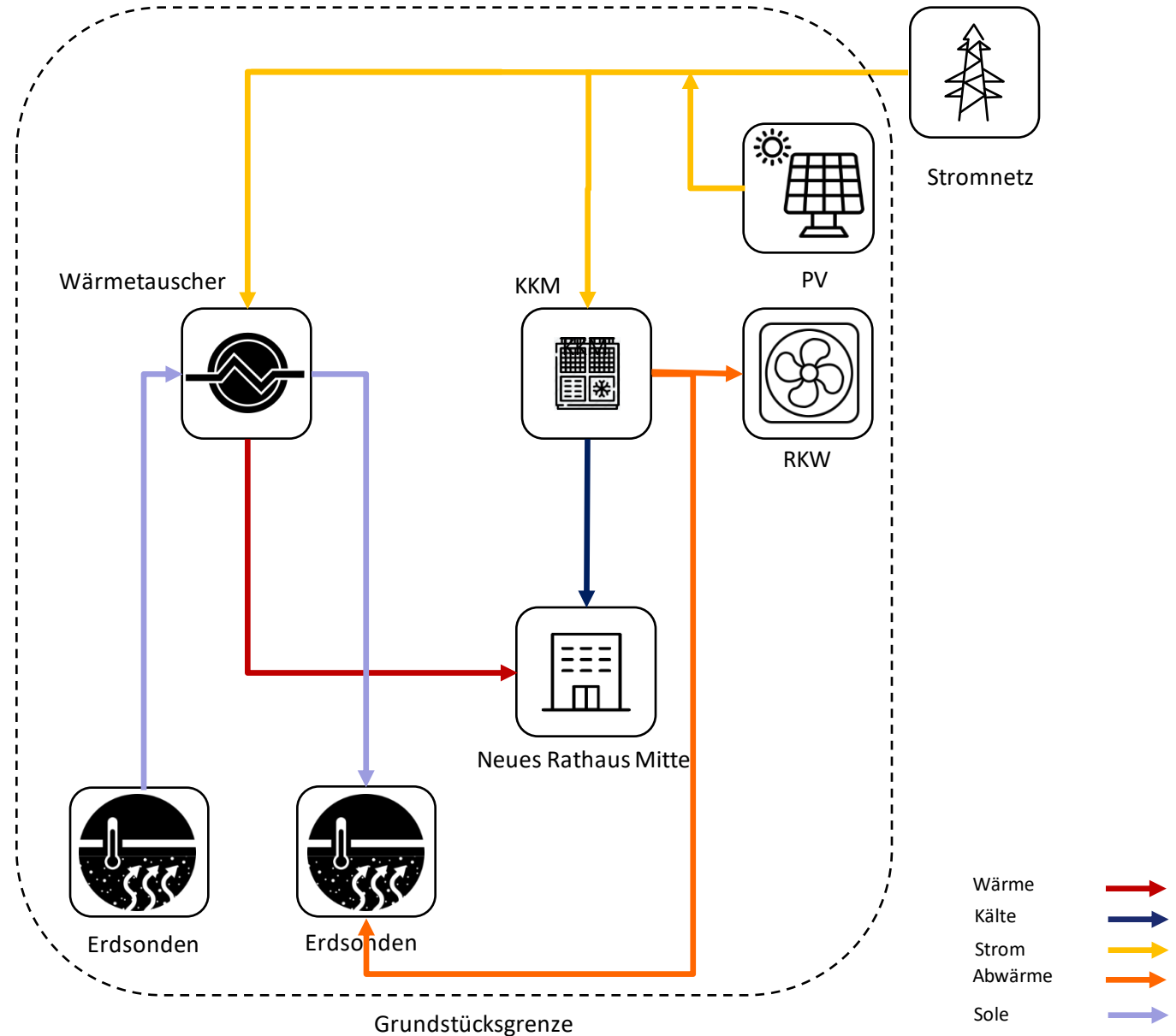


Variante 2:

Kälte: Wärmetauscher (Erdsonde)
+ Kompressionskältemaschine (KKM)

Beschreibung:

- Grund-& Mittellast Kälte: Wärmetauscher
- Spitzenlast Kälteerzeugung: KKM
- Speicherung der Restwärme der KKM im Boden (Regeneration des Bodens)
- Stromversorgung über Netzbezug und PV



Eigenschaften:

Anzahl der Bohrungen: 56

Tiefe der Bohrungen: 80 m

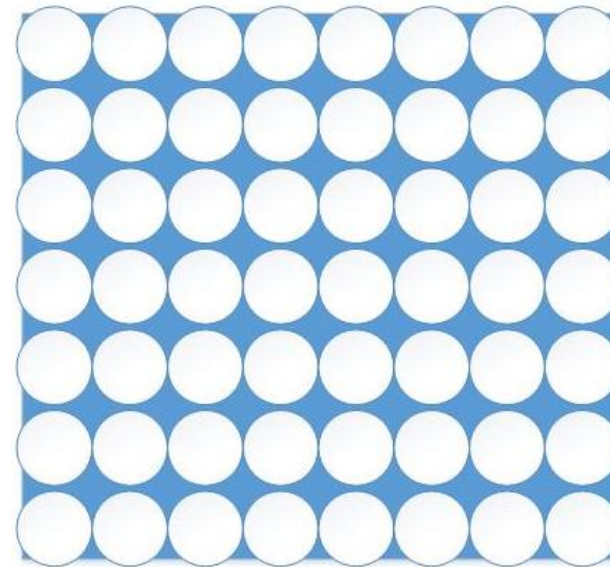
Spez. Entzugsleistung: 40 W/m

Gesamte Entzugsleistung: 179 kW

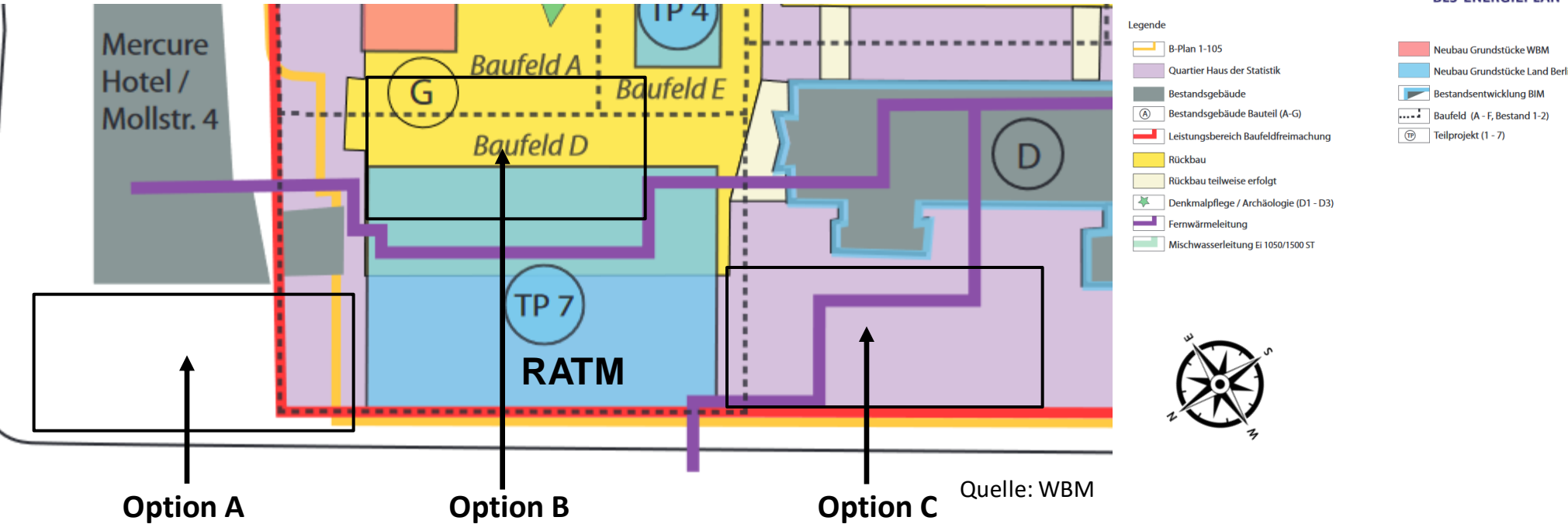
Gesamte Wärmemenge*: 323 MWh/a

→ In der weiteren Betrachtung wird für die Erdsondengeothermie die dargestellte Erdsondenanordnung verwendet

Erdsondenanordnung** (Grundfläche, Sicht von oben):



* Bei 1800 Vollbenutzungsstunden (Vbh), ** Unterhalb oder neben dem Gebäude



Fläche	Beschreibung	Einordnung
Option A	Fläche nordöstlich des RATM (nicht Teil der Quartiersfläche)	Umsetzung eines Sondenfeldes möglich, falls vorhandene Telekommunikations- und Gasleitungen umverlegt werden
Option B	Fläche östlich des RATM (Teil der Quartiersfläche)	Umsetzung eines Sondenfeldes möglich, Abstand zu geplanten Leitungen (mind. 1 m) und Gebäuden (mind. 2 m) muss eingehalten werden
Option C	Fläche südwestlich des RATM (Teil der Quartiersfläche)	Umsetzung eines Sondenfeldes nur bedingt möglich, da geplante Fernwärmeleitung des Feld durchquert

Vergleich Offene und Geschlossene Geothermie

Stärken

- **Höheres Wärmeertragspotential verglichen mit V2 durch höhere thermische Gradienten bei der Wärmegewinnung aus Grundwasser**
- Höherer Deckungsanteil der Energieversorgung durch Umweltenergie
- Effizienterer Anlagenbetrieb → höherer COP

Schwächen

- **Erhöhter regulatorischer Aufwand für Grundwassernutzung (auf behördlicher Seite)**
- Ablehnende Haltung der verantwortlichen Genehmigungsbehörden

Möglichkeiten

- **Sektorenkopplung durch Anbindung an PV-Anlage**
- Speicherung der Abwärme der KKM im Boden
- Keine Wasserschutzzone im relevantem Bereich

Risiken

- **Aktuell unzureichende Datenlage zu Grundwassergegebenheiten**
- Abhängigkeit vom Schüttrate
- Abhängigkeit von Wasserchemie
- Wärmetauscher anfällig für Verockerung und Korrosion durch Grundwasserchemie
- Hydraulischer Kurzschluss der Brunnen ist zu vermeiden

Stärken

- **Erprobte und in Berlin praktizierte Methode der Wärmegegewinnung aus Umweltwärme**
- Robuster gegenüber Korrosion und Verockerung durch Einsatz von Kunststoffen bei der Wärmegegewinnung

Schwächen

- **Verteuerung der Baugrube bei Sondeninstallation unterhalb der Bodenplatte**
- Aufwendige Bohrungen und Abdichtung der Bodenplatte gegenüber hohem Grundwasserstand (Düsenstrahlsohle befindet sich unter dem Fundament)
- Niedrigeres thermisches Potential als V1
- Höherer Betriebsstromaufwand als V1

Möglichkeiten

- **Sektorenkopplung durch Anbindung an PV-Anlage**
- Speicherung der Abwärme der KKM im Boden
- Vereinfachung des Genehmigungsverfahrens gegenüber V1

Risiken

- **Kurzschluss von Grundwasserleitern muss baulich vermieden werden**
- Genügend Abstand zu Fernwärmeleitungen muss gewährleistet werden
- Aufwändiger Rückbau der Erdsonden
- Einsatz von Glykol (potentielle Gefahr der Grundwasserverunreinigung)

Offene Geothermie (Grundwasser-WP):

- Zunächst sollten die Grundwassergegebenheiten (Schütttrate, chemische Zusammensetzung des Grundwassers) durch Probebohrungen genauer untersucht werden
- Mit diesen Erkenntnissen sollte eine behördliche Anfrage beim SenUVK gestellt werden um die nötigen regulatorische Aspekte zu klären

Geschlossene Geothermie (Erdsonden-WP):

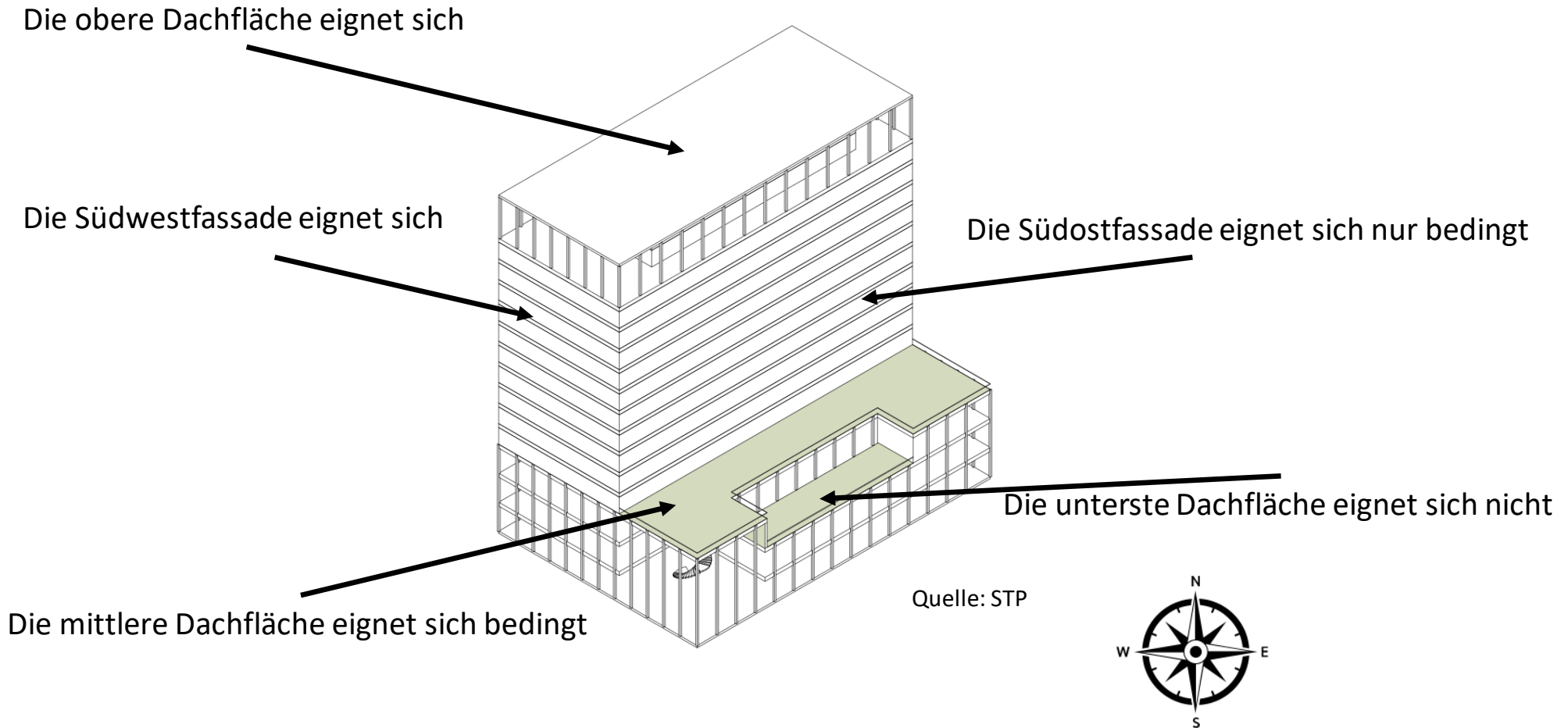
- Durch Probebohrungen sollte zunächst die tatsächliche Wärmeleitfähigkeit (Thermal Response Test) als auch die Beschaffenheit des Bodens (möglicher Kurzschluss von Grundwasserleitern) geklärt werden

Photovoltaik

- Das **Solargesetz Berlin** ist auf nicht-öffentliche Gebäude anzuwenden (§ 3 (1) , Solargesetz Bln)
- Nach aktuellem Ermessen handelt es sich beim Neuen Rathaus Mitte um ein öffentliches Gebäude
- Daher kommt stattdessen das **Berliner Energiewendegesetz** (EWG Bln) vom 26.10.2017 zum Tragen (dessen Überarbeitungsentwurf befindet sich derzeit in der Beschlussfassung)
- Beim Neubau öffentlicher Gebäude ist die Errichtung von Solaranlagen auf der **gesamten technisch nutzbaren Dachfläche** vorzusehen. Die Anlagen sind im Zuge der Bauausführung, spätestens aber ein Jahr nach Bauabnahme zu errichten. Dies kann auch durch die Errichtung von Anlagen Dritter geschehen (§ 19 (3), EWG Bln 2017)
- Relevante Ausnahmen:
Dachflächen, die nach ihrer Ausrichtung und Lage für die Nutzung solarer Strahlungsenergie offensichtlich ungeeignet oder dauerhaft für andere Zwecke bestimmt sind, mit denen die Errichtung von Solaranlagen nicht vereinbar ist (§ 19 (6), EWG Bln 2017)
- Definition technisch nutzbare Dachfläche:
Die technisch nutzbare Dachfläche ist der Anteil der gesamten Dachfläche, der nach Abzug der Flächeninanspruchnahme durch Dacheinbauten und -aufbauten einschließlich erforderlicher Abstandsflächen für die Belegung mit Solaranlagen zur Verfügung steht (§ 2 (22), EWG Bln 2017)

- Beim Neubau von öffentlichen Gebäuden ist die Verwendung der gesamten technisch nutzbaren Dachfläche notwendig (§ 19 (3), EWG Bln 2017), das heißt die Dachflächen müssen zu einem großen Teil für Photovoltaik verwendet werden
- Zusätzlich können Photovoltaik-Elemente an der Fassade angebracht werden genutzt werden, um den Anteil Erneuerbarer Energien an der Stromversorgung zu steigern und damit den Primärenergiebedarf des Gebäudes zu senken

Im Folgenden wird dargestellt, an welchen Dach- und Fassadenflächen die Nutzung von Photovoltaik technisch sinnvoll ist und mit welchem Ertrag an Photovoltaik-Strom zu welcher Jahreszeit zu rechnen ist.



- Das Neue Rathaus weist eine höhere Fassadenfläche Richtung Südost auf
- Die PV-Nutzung an der Südwestfassade ist jedoch deutlich effektiver

60 m Hochhaus

- Brutto-Fassadenfläche Südwest: 960 m²
- Brutto-Fassadenfläche Südost: 2.400 m²
- Brutto-Dachfläche: 1.440 m²

Allgemein

- Sonneneinstrahlung auf dem Dach pro Jahr bei 30° Neigung: 1.211 kWh/m²*a nach DIN V 18599
- Sonneneinstrahlung an der Fassade (Süd-West) pro Jahr: 771 kWh/m²*a nach DIN V 18599
- Sonneneinstrahlung an der Fassade (Süd-Ost) pro Jahr: 841 kWh/m²*a nach DIN V 18599
- Elektrische Peak-Leistung pro Fläche: 160 W/m²
- Dach: 60 % als PV-Flächen (der geeigneten Dachflächen)
- Fassadenflächen: ab 20 m Höhe nutzbar, davon 30 % als PV-Flächen

Lage am Gebäude	Einheit		Datenherkunft
Dach	m ²	893	Eigene Berechnung
	kW	143	Eigene Berechnung
	MWh/a	138	Eigene Berechnung
Südwestfassade	m ²	288	Eigene Berechnung
	kW	46	Eigene Berechnung
	MWh/a	28	Eigene Berechnung
Südostfassade	m ²	720	Eigene Berechnung
	kW	115	Eigene Berechnung
	MWh/a	77	Eigene Berechnung
Gesamt	m ²	1.901	Eigene Berechnung
	kW	304	Eigene Berechnung
	MWh/a	243	Eigene Berechnung

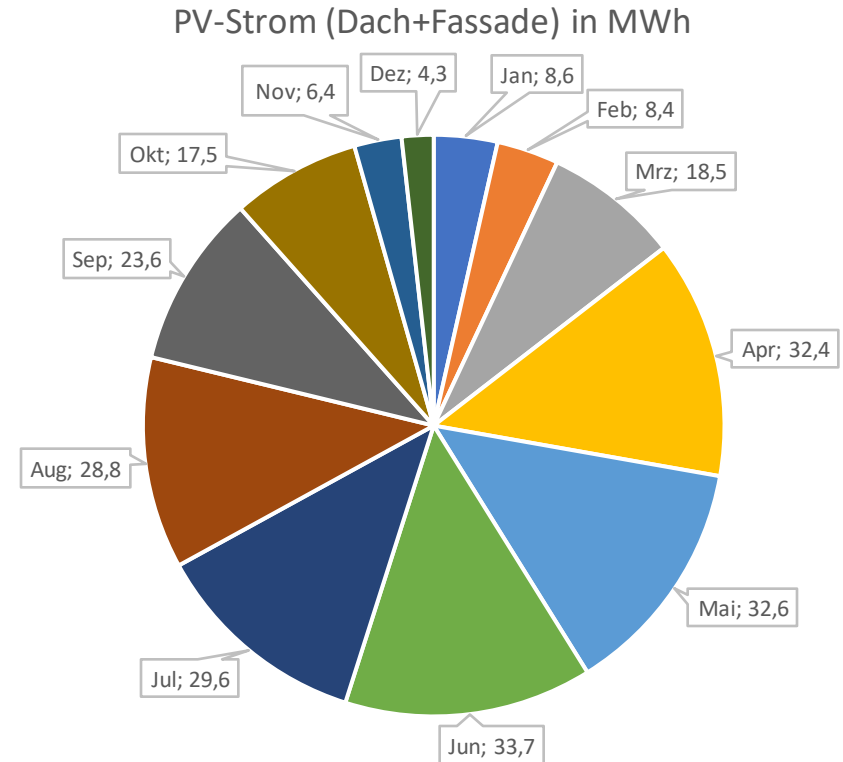
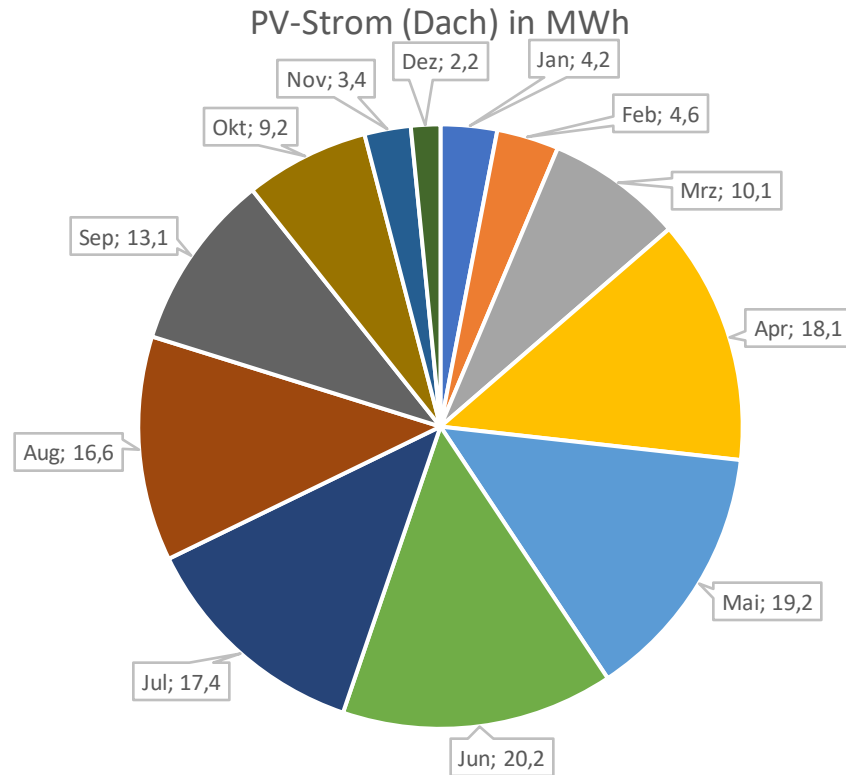
Tabelle 5: PV-Flächenpotential auf dem Dach und den Fassaden des Gebäudes

(1) Strom aus erneuerbaren Energien, der im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang zu einem zu errichtenden Gebäude erzeugt wird, darf bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs des zu errichtenden Gebäudes nach § 20 Absatz 1 oder Absatz 2 und nach § 21 Absatz 1 und 2 nach Maßgabe des Absatzes 2 in Abzug gebracht werden.

(2) Zur Berechnung der abzugsfähigen Strommenge nach Absatz 1 ist der monatliche Ertrag der Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dem Strombedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und Hilfsenergien sowie bei Nichtwohngebäuden zusätzlich für Beleuchtung gegenüberzustellen. Der monatliche Ertrag ist nach DIN V 18599-9: 2018-09 zu bestimmen.

Bei Anlagen zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie sind die monatlichen Stromerträge unter Verwendung der mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten der Referenzklimazone Potsdam nach **DIN V 18599-10: 2018-09 Anhang E** sowie der Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung des Photovoltaikmoduls nach **DIN V 18599-9: 2018-09 Anhang B** zu ermitteln.

→ Die monatlichen PV-Einspeisemengen auf dem Dach und der Fassade werden mit Hilfe der getroffenen Annahmen und der Berechnungsmethode nach DIN V 18599 bestimmt um die Anrechenbarkeit von EE-Strom für die Wärme- und Kälteerzeuger nach dem neuen Gebäudeenergiegesetz 2023 zu berechnen



→ Die erzeugte PV-Strommenge ist in jedem Monat unterschiedlich, daher ist eine Differenzierung zur Bewertung der Einspeisemenge von PV-Strom in die Wärme- und Kälteerzeuger notwendig (siehe ökologische Bewertung)

Ökologische Bewertung

- Mit Hilfe von Testreferenzjahren (TRY) der Umgebungstemperatur am Standort, den Bedarfskennwerten zum Heizen und Kühlen des Gebäudes am Standort, als auch den thermischen Erzeugerleistungen der Anlagen der offenen und geschlossenen Geothermie lässt sich der maximal mögliche Anteil der erzeugten Wärme aus den Wärmepumpen bzw. maximal mögliche Anteil der erzeugten Kälte der Wärmepumpe in einem Jahr simulieren
- Wärme und Kälte aus Geothermie-Wärmepumpen gilt als Erneuerbare Energie (§ 3, GEG 2020)
- Zur Einhaltung der Anforderungen eines Niedrigstenergiegebäudes nach GEG müssen mindestens 50 % des Wärmebedarfs und 50 % des Kältebedarfs aus Erneuerbaren Energien stammen (§ 37, GEG 2020)
- Der Jahres-Primärenergiebedarf des Gebäudes lässt sich aus dem Jahres-Primärenergiebedarf der Wärme- und Kälteerzeuger bzw. der gelieferten Fernwärme und dem Verbrauch von netzbezogenen Strom und erzeugten gebäudenahem Photovoltaik-Strom (nach GEG 2023, DIN V 18599) bestimmen

Zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs sind Primärenergiefaktoren (PEF) für Energiequellen anzuwenden. Die aktuellen Primärenergiefaktoren sind nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) 2020 (Anlage 4) definiert. Dabei gelten folgende Primärenergiefaktoren:

Strom (netzbezogen): 1,8

Strom (gebäudenah erzeugt aus Photovoltaik): 0,0

Erdwärme, Erdkälte: 0,0

Für den Betrieb von Wärmepumpen und Wärmetauschern wird jedoch auch Strom verbraucht, daher wird der PEF für die Wärme aus Wärmepumpen (PEF WP) mit Hilfe des COPs (Coefficient of Performance, deutsch: Leistungszahl) der Wärmepumpe berechnet:

$$PEF_{WP} = \frac{PEF_{Strom}}{COP_{WP}}$$

Bei einem PEF Strom von 1,8 (100% netzbezogen) und einem COP der Wärmepumpe von 4 ergibt sich somit ein Primärenergiefaktor der Wärmepumpe von 0,45.

Wird hingegen ein PEF Strom von 0,9 (50 % netzbezogen, 50 % PV-Strom) angenommen und ein COP der Wärmepumpe von 4 ergibt sich ein Primärenergiefaktor der Wärmepumpe von 0,225. Wird die Wärmepumpe vollständig durch PV-Strom betrieben ergibt sich ein Primärenergiefaktor der Wärmepumpe von 0,0. Dieser Wert muss nach dem GEG 2023 (§ 23) monats-scharf berechnet werden.

Der Primärenergiefaktor der Fernwärme (PEF FW) im Berliner Vattenfall-Verbundnetz liegt derzeit bei 0,45.

Variante 1 – Offene Geothermie:

Wärme:

Erzeugerleistung Wärmepumpe (WP): 400 kW (COP=4)

Kälte:

Erzeugerleistung Wärmepumpe (WP): 300 kW (COP=20)

Erzeugerleistung Kompressionskältemaschine (KKM): 560kW (COP=6)

Variante 2 – Geschlossene Geothermie:

Wärme:

Erzeugerleistung Wärmepumpe (WP): 240 kW (COP=4)

Kälte:

Erzeugerleistung Wärmepumpe (WP): 180 kW (COP=20)

Erzeugerleistung Kompressionskältemaschine (KKM): 680 kW (COP=6)

Bedarfskennwerte des Gebäudes:

Normaußentemperatur Heizen: -14 °C

Heizgrenztemperatur: 12 °C

Normaußentemperatur Kühlen: 29 °C

Kühlgrenztemperatur: 14 °C

	Winter	Sommer	Datenherkunft
	Leistung	Leistung	
Wärmepumpe - elektrisch	130 kW	20 kW	Eigene Berechnung
KKM - elektrisch		100 kW	Eigene Berechnung
Peripherie - elektrisch	ca. 50 kW	ca. 50 kW	Schätzung
Fernwärme (FW) - thermisch	300 kW	-	Eigene Berechnung

Tabelle 8: elektrische Anschlussleistung der Wärmeerzeuger und thermische Anschlussleistung der Fernwärme Offene Geothermie

→ elektrische Anschlussleistung: 170 kW

→ thermische Anschlussleistung: 300 kW

	Winter	Sommer	Datenherkunft
	Leistung	Leistung	
Wärmepumpe - elektrisch	80 kW	30 kW	Eigene Berechnung
KKM - elektrisch	-	120 kW	Eigene Berechnung
Peripherie - elektrisch	ca. 70 kW	ca. 70 kW	Schätzung
Fernwärme (FW) - thermisch	500 kW	-	Eigene Berechnung

Tabelle 9: elektrische Anschlussleistung der Wärmeerzeuger und thermische Anschlussleistung der Fernwärme Geschl. Geothermie

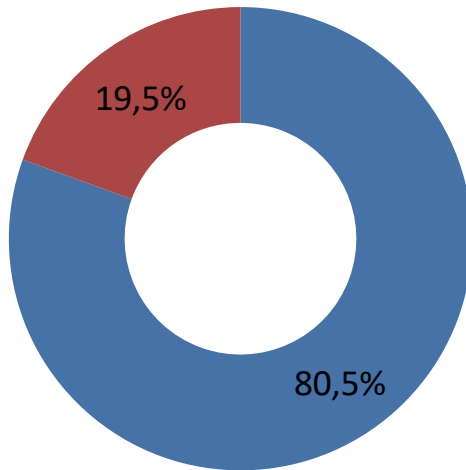
→ elektrische Anschlussleistung: 220 kW

→ thermische Anschlussleistung: 500 kW

**Variante 1: offene Geothermie
(Grundwasser-WP) + Fernwärme (FW)**

Erzeugte thermische Energie - Wärme

■ WP_Geo ■ Fernwärme

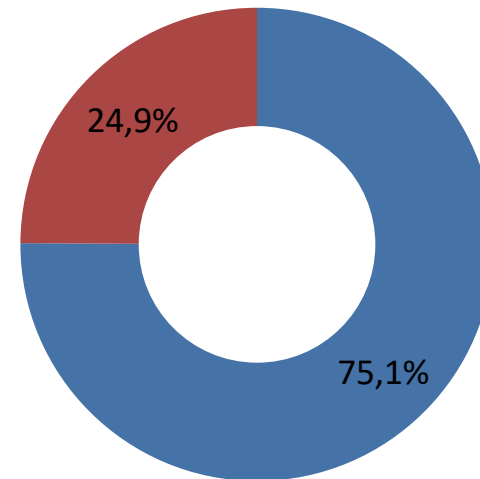


EE-Anteil der Wärme Variante 1: 80,5 %

**Variante 2: geschlossene Geothermie
(Erdsonden-WP) + Fernwärme (FW)**

Erzeugte thermische Energie - Wärme

■ WP_Geo ■ Fernwärme



EE-Anteil der Wärme Variante 2: 75,1 %

→ Variante 1 weist einen höheren Anteil an EE-Wärme auf als Variante 2 (beide über 50 %)

Jahreszeit	Einheit	Offene Geothermie + FW		Geschlossene Geothermie + FW	
		WP	FW	WP	FW
Winter	MWh (th)	531,9	47,3	442,6	136,9
Frühling	MWh (th)	144,3	60,6	161,8	43,2
Sommer	MWh (th)	0	0	0	0
Herbst	MWh (th)	100,0	77,3	130,7	46,7

Tabelle 12: Erzeugte Wärme der Wärmepumpe (WP) und Fernwärme (FW)

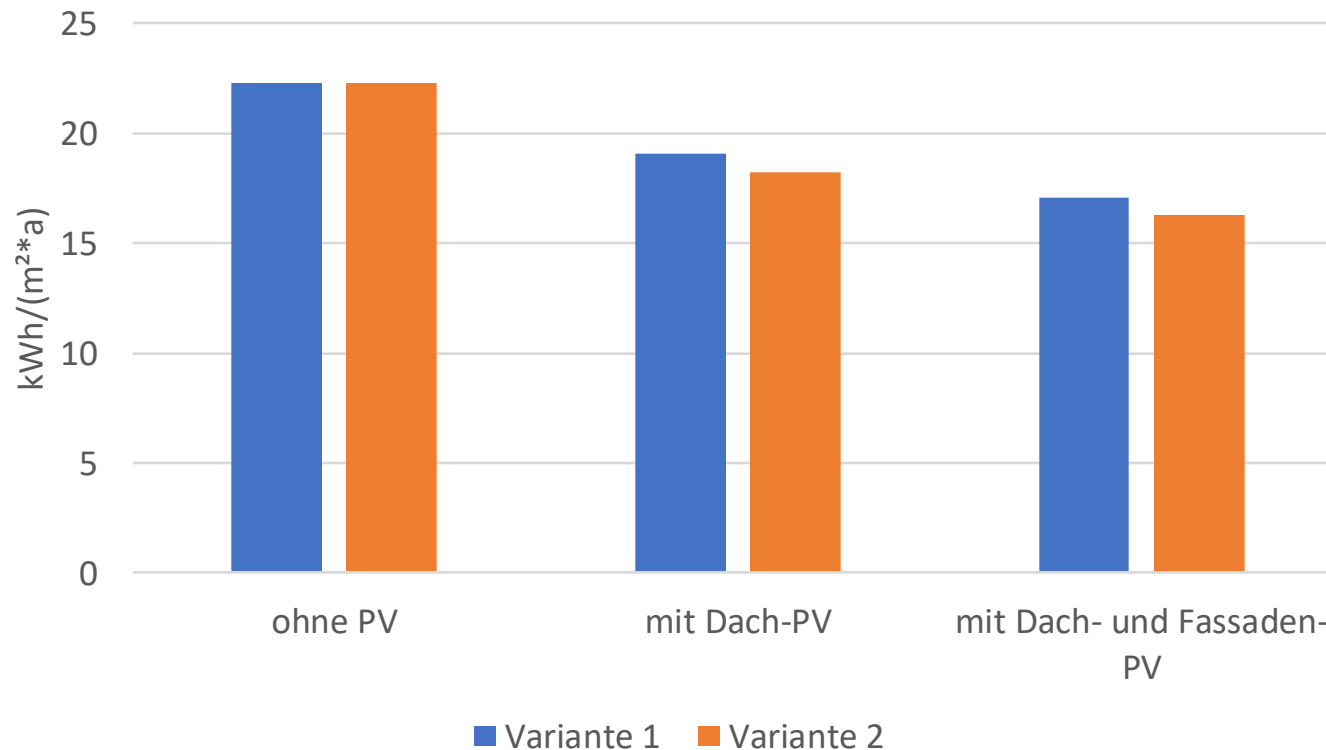
Jahreszeit	Einheit	Offene Geothermie + FW		Geschlossene Geothermie + FW	
		WP	FW*	WP	FW
Winter	MWh (el)	133,0	0	110,7	0
Frühling	MWh (el)	36,1	0	40,5	0
Sommer	MWh (el)	0,0	0	0,0	0
Herbst	MWh (el)	25,0	0	32,7	0

Tabelle 13: Stromverbrauch der Wärmeerzeuger

* Der Stromverbrauch für die Fernwärme (FW) wird vernachlässigt

Beide Varianten:

- Der Wärmebedarf bzw. die Wärmeerzeugung besteht alleinig im Winter, Frühling und Herbst. Daher wird nur in diesen Jahreszeiten Wärme durch die Wärmepumpe (WP) und Fernwärme (FW) bereitgestellt.
- Die meiste Wärme wird im Winter durch die Wärmepumpe und Fernwärme bereitgestellt, deshalb ist der Stromverbrauch in dieser Jahreszeit am höchsten.
- Im Frühling und im Herbst ist die bereitgestellte Wärme durch die Wärmepumpe und Fernwärme im Vergleich zum Winter geringer, daher ist der Stromverbrauch in diesen Jahreszeiten ebenfalls geringer als im Winter.
- Im Sommer findet keine Wärmeerzeugung durch die Wärmepumpe und Fernwärme statt, es liegt kein Stromverbrauch für die Wärmeerzeugung in den Sommermonaten vor.



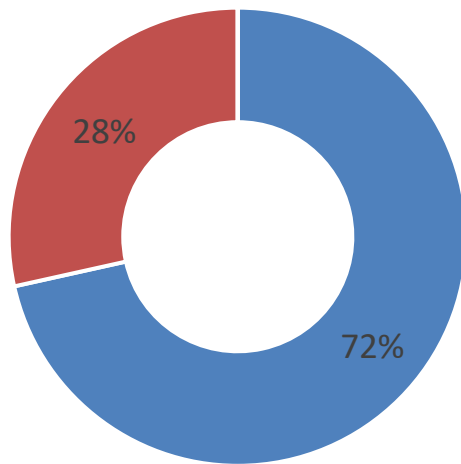
- Der Primärenergieverbrauch pro Fläche (NGF) ist bei der Nutzung von PV-Strom für die Wärmepumpe für Variante 2 (geschlossene Geothermie + FW) etwas geringer als für Variante 1 (offene Geothermie + FW)
- Die Einspeisung von PV-Strom zum Betrieb der Wärmepumpen führt zu einem deutlich geringeren Primärenergieverbrauch im Vergleich zum Wärmepumpen-Betrieb ohne PV-Strom

*PEF Fernwärme: 0,45

**Variante 1: offene Geothermie
(Grundwasser-WP) +
Kompressionskältemaschine (KKM)**

Erzeugte thermische Energie - Kälte

■ WP_Geo ■ KKM

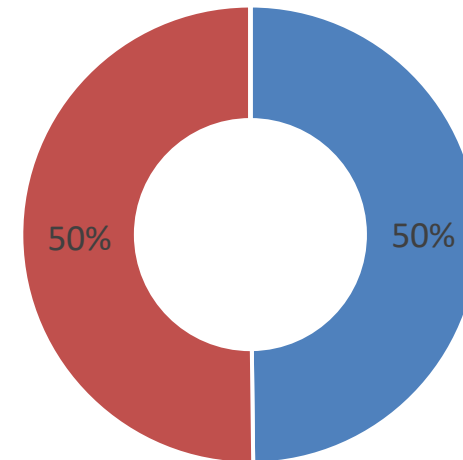


EE-Anteil der Kälte Variante 1: 72 %

**Variante 2: geschlossene Geothermie
(Erdsonden-WP) +
Kompressionskältemaschine (KKM)**

Erzeugte thermische Energie - Kälte

■ WP_Geo ■ KKM



EE-Anteil der Kälte Variante 2: 50 %

→ Variante 1 weist einen höheren Anteil an EE-Kälte auf, durch Variante 2 können ca. 50 % des Kältebedarfs durch EE-Kälte gedeckt werden (ohne PV-Strom)

Jahreszeit		Offene Geothermie + KKM		Geschlossene Geothermie +KKM	
	Einheit	WP	KKM	WP	KKM
Winter	MWh (th)	0,0	0,0	0,0	0,0
Frühling	MWh (th)	0,0	0,0	0,0	0,0
Sommer	MWh (th)	446,9	178,0	311,2	313,6
Herbst	MWh (th)	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 22: Erzeugte Kälte der Wärmepumpe (WP) und Kompressionskältemaschine (KKM)

Jahreszeit		Offene Geothermie + KKM		Geschlossene Geothermie + KKM	
	Einheit	WP	KKM	WP	KKM
Winter	MWh (el)	0,0	0,0	0,0	0,0
Frühling	MWh (el)	0,0	0,0	0,0	0,0
Sommer	MWh (el)	22,3	29,7	15,6	52,3
Herbst	MWh (el)	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 23: Stromverbrauch der Wärmepumpe (WP) und Kompressionskältemaschine (KKM)

Beide Varianten:

- Der Kältebedarf besteht alleinig in den Sommermonaten, daher wird nur im Sommer Kälte durch die Wärmepumpe (WP) und Kompressionskältemaschine (KKM) bereitgestellt und dementsprechend Strom durch die Erzeuger verbraucht

Strom- versorgung	Vorhandene PV- Strommenge	Primärenergiebedarf Variante 1 – offene Geothermie			Primärenergiebedarf Variante 2 – geschlossene Geothermie		
		WP	KKM	Gesamt pro NGF	WP	KKM	Gesamt pro NGF
-	MWh (el)	MWh	MWh	kWh/m ² *a	MWh	MWh	kWh/m ² *a
Netzbezug*	0,0	40,2	53,4	4,8	28,0	94,1	6,3
Netzbezug + Dach-PV	54,2	0,0	5,7	0,3	0,0	31,7	1,6
Dach- und Fassaden-PV	92,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tabelle 25: Primärenergieverbrauch der Kälteerzeuger in der Kühlperiode (Sommer)

- Die offene Geothermie weist bei vollständigen Stromnetzbezug und Stromnetzbezug mit Dach-PV-Strom gegenüber der geschlossenen Geothermie einen leicht geringeren Primärenergieverbrauch auf
- Die Stromversorgung der Kälteerzeuger im Sommer kann durch Dach- und Fassaden-PV vollständig gedeckt werden, sodass bilanziell kein Primärenergieverbrauch zustande kommt

*Aktueller PEF Strom: 1,8

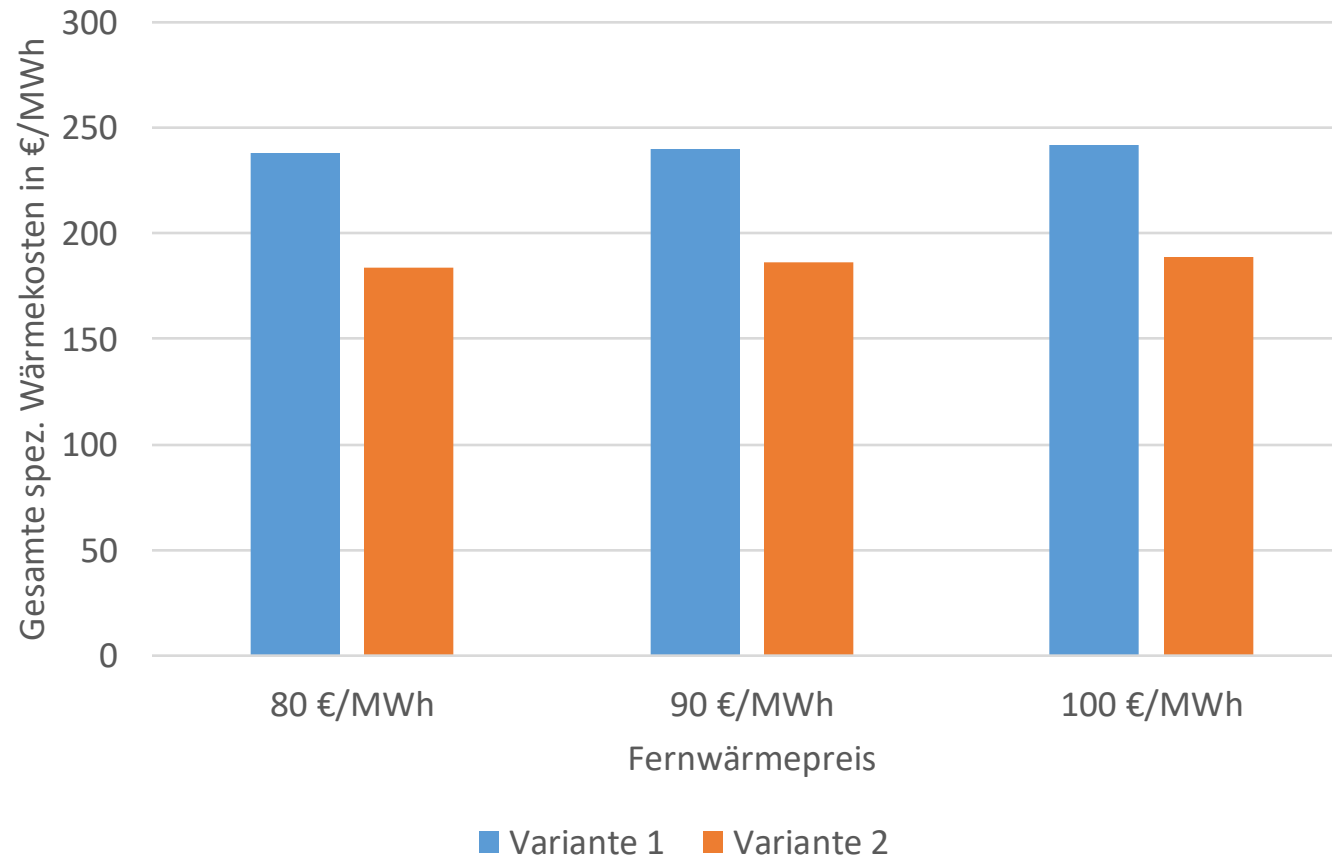
Wirtschaftlichkeit

Annahmen

- Projektlaufzeit: 20 Jahre
- Zinssatz: 3 %/a
- Betriebsbedingte Stromkosten Wärme und Kälte: 180 €/MWh
- Fernwärmepreis: 90 €/MWh
- Wärmeerzeugung: 963 MWh/a (entspricht Verbrauch)
- Kälteerzeugung: 623 MWh/a (entspricht Verbrauch)
- Die Berechnung der gesamten spezifischen Wärme- und Kältekosten erfolgt nach dem Anteil der gesamten erzeugten Wärme bzw. Kälte
- Erzeugerleistungen siehe : Annahmen zu den Wärme- und Kälteerzeugern

Kosten	Einheit	Offene Geothermie + Fernwärme	Geschlossene Geothermie + Fernwärme	Datenherkunft
Peripheriekosten	T€	1.960	1.265	Eigene Berechnung
Investitionskosten der Module inkl. Fördermittel	T€	561	493	Eigene Berechnung
Kapitalgebundene Kosten	T€	2.521	1.758	Eigene Berechnung
	T€/a	169	118	Eigene Berechnung
Verbrauchsgebundene Kosten	T€/a	76	82	Eigene Berechnung
Betriebsgebundene Kosten	T€/a	126	88	Eigene Berechnung
Gesamte spez. Wärmekosten	€/MWh	240	186	Eigene Berechnung
Gesamte spez. Kältekosten	€/MWh	201	149	Eigene Berechnung

Tabelle 26: Kostenaufstellung der Wärme- und Kälteerzeuger ohne PV



→ Der Einfluss des Fernwärmepreises auf die gesamten spezifischen Wärmekosten ist marginal

→ Variante 2 (geschlossene Geothermie + FW) weist gegenüber Variante 1 (Offene Geothermie + FW) niedrigere gesamte spezifische Wärmekosten auf

Position am Gebäude		Einheit	
Dach	Leistung	kW	151
	Investitionskosten	T€	185
Südwestfassade	Leistung	kW	65
	Investitionskosten	T€	74
Südostfassade	Leistung	kW	143
	Investitionskosten	T€	186
Gesamt	Leistung	kW	359
	Investitionskosten	T€	445

Tabelle 27: Kostenaufstellung Photovoltaik

Fazit

- Die geothermischen Konzepte sind nach aktueller Einschätzung am ausgewiesenen Standort technisch umsetzbar
- Grundsätzlich bestehen keine regulatorischen Hemmnisse aufgrund des Gewässerschutzes
- Die Entzugsleistung bei der offenen Geothermie ist maßgeblich von der Schüttrate (Grundwassernachströmung in den Brunnen) und Temperatur des Grundwassers abhängig
- Die Grundwassergüte (chemische Zusammensetzung des Grundwassers) entscheidet maßgeblich über die Genehmigungsfähigkeit bei der SenUVK
- Bei Weiterverfolgung beider Konzepte wären Probebohrungen und entsprechende Analysen notwendig
- Sowohl die Dachflächen als auch die Fassadenflächen des Gebäudes weisen ein hohes Potential für eine Nutzung durch Photovoltaik auf
- Die geschlossene Geothermie weist gegenüber der offenen Geothermie niedrigere spezifische Wärme- und Kältekosten auf
- Durch die offene Geothermie lassen sie die hohen Gebäudestandards nach EGB-40 und GEG am besten realisieren, da der EE-Anteil von der offenen Geothermie höher ist als bei der geschlossenen Geothermie

Variante 1 – Grundwasser-WP + Fernwärme	Variante 2 – Erdsonden-WP + Fernwärme
<p>Die offene (Brunnen-)Geothermie weist das größere thermische Potential für eine Wärme- und Kälteerzeugung aus Erneuerbaren Energien auf.</p> <p>Das thermische Potential ist maßgeblich von der Schüttrate und der chemischen Zusammensetzung des Grundwassers abhängig welche über Probebohrungen untersucht werden müssen.</p> <p><u>Kennzahlen:</u></p> <p>Primärenergiebedarf der Wärme pro Fläche: 22,3 kWh/m²*a (beide Gebäudehöhen, ohne PV-Nutzung, PEF FW=0,45)</p> <p>Investitionskosten: 2.521 T€ (ohne PV)</p> <p>Gesamte spezifische Wärmekosten: 240 €/MWh</p> <p>Gesamte spezifische Kältekosten: 201 €/MWh</p>	<p>Die geschlossene (Erdsonden-)Geothermie weist das niedrigere thermische Potential für eine Wärme- und Kälteerzeugung aus Erneuerbaren Energien auf. Die geforderten Standards nach dem aktuellen GEG können ggf. nicht eingehalten werden (Vgl. GEG 2020, § 37).</p> <p>Die Installation und der Betrieb der Erdsonden unter der geplanten Bodenplatte/Düsenstrahlsohle erweist sich ggf. als kompliziert.</p> <p><u>Kennzahlen:</u></p> <p>Primärenergiebedarf der Wärme pro Fläche: 22,3 kWh/m²*a (beide Gebäudehöhen, ohne PV-Nutzung, PEF FW= 0,45)</p> <p>Investitionskosten: 1.758 T€ (ohne PV)</p> <p>Gesamte spezifische Wärmekosten: 186 €/MWh</p> <p>Gesamte spezifische Kältekosten: 149 €/MWh</p>



Projektleitung

Dr.-Ing. Juan José Victoria Villeda
Juan.Victoria@BLS-Energieplan.de
+49 30 53 32 81-20

Bearbeitung

Felix Rösinger
Felix-Rasmus.Roesinger@BLS-Energieplan.de
+49 30 53 32 81-10