

Simulationsgestützte Prognose des geothermischen Nutzungspotentials einer bestehenden Erdwärmesondenanlage

BAUVORHABEN:

Kita Spatzennest
Schönwalder Straße 17
16761 Hennigsdorf

AUFTRAGGEBER:

Stadt Hennigsdorf
Rathausplatz 1
16761 Hennigsdorf

AUFTRAGNEHMER:



Gesellschaft für Energie und Umwelt mbH

Gerhart-Hauptmann-Straße 19, 18055 Rostock

Telefon: 0381 252 898 10

E-Mail: info@hsw-rostock.de

HSW-PROJEKTNUMMER:

2024/11/067

BEARBEITER:

M.Sc. Fynn Vincent Hackstein
Dipl.-Ing. Björn Oldorf

ERSTELLT:

16.02.2024

Inhaltsverzeichnis

1	Anlass	1
2	Bemessungsparameter und -kriterien	2
2.1	Anzahl, Tiefe, Konfiguration und Ausbauparameter der Erdwärmesonden	2
2.2	Berücksichtigte Parameter des Untergrundes bis zu 100 m Tiefe	2
2.3	Bemessungskriterien	3
2.4	Versorgungskonzept/Bedarfsdaten/Wärmepumpenbetrieb	4
3	Berechnung und Bewertung der bisherigen Nutzung	6
3.1	EED-Simulation der Soletemperaturen	6
3.2	Abschätzung der Temperaturveränderung im umliegenden Erdreich	7
4	Eruierung einer möglichen Nachnutzung	8
4.1	Festlegung der Parameter	8
4.2	Ergebnis der EED-Simulation	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Anlage 1: EED-Berechnungsprotokoll bisheriger Betrieb

Anlage 2: EED-Berechnungsprotokoll Nutzungspotential

1 Anlass

Am Standort Schönwalder Straße 17 in 16761 Hennigsdorf (Bundesland: Brandenburg) wurde im Sommer 2007 eine geothermische Quellenanlage bestehend aus 14 Doppel-U DA 32 mm Erdwärmesonden mit 100 m Einheitstiefe errichtet. Nach vorliegenden Informationen ist die daran gekoppelte Wärmepumpenanlage, bestehend aus zwei Sole/Wasser-Wärmepumpen mit ca. 81,2 kW und 17,7 kW, seit dem Jahr 2008 im Betrieb und wurde seither für die Erzeugung von Heizwärme und Warmwasser genutzt.

Seit längerem sind Störungen und Ausfälle im Anlagenbetrieb zu beanstanden die vermutlich auf eine thermische Überbeanspruchung der erdseitigen Quellenanlage zurückzuführen sind. Im Zusammenhang mit dem vorgesehenen Austausch der beiden Wärmepumpen wurde die H.S.W. GmbH durch die Stadt Hennigsdorf mit einer Prognose des verbliebenen geothermischen Nutzungspotentials der Bestandserdwärmesondenanlage unter Berücksichtigung der vorangegangenen geothermischen Nutzung beauftragt.

Die bestimmungsgemäße Nutzung der Erdwärmesonden ist für eine nachhaltige und effiziente Funktion der geothermischen Gesamtanlage unabdingbar. Entsprechende Auslegungsnachweise des geothermischen Quellensystems werden im Regelfall auch durch die Genehmigungsbehörde im Zuge des wasserrechtlichen Antragsverfahrens als Nachweis eines für den Grundwasserschutz unbedenklichen Anlagenbetriebes gefordert.

Für die Anlagendimensionierung bzw. die Potentialberechnung einer Bestandsanlage sind detaillierte Kenntnisse über verschiedenste projektspezifische Voraussetzungen und Anforderungen relevant. Maßgebende Parameter für die Bemessung sind u.a.:

- Geologische/hydrogeologische und thermophysikalische Eigenschaften des Untergrundes (u.a. effektive Wärmeleitfähigkeit, Untergrundtemperatur, spezifische Wärmekapazität)
- Anzahl, Tiefe, Konfiguration und Abstand der Erdwärmesonden
- Sondentyp, verwendete Baustoffe und Materialien
- Geplantes geothermisches Versorgungs-/Nutzungskonzept/Bedarfsanforderungen
- Technisch oder behördlich vorgegebene Temperaturlimits im Anlagenbetrieb
- Berücksichtigte Simulationsdauer/betrachteter Betriebszeitraum

Die Vielfalt dieser Bemessungsrandbedingungen und deren unterschiedliche Wechselwirkungen erfordern eine rechnergestützte Simulation der geothermischen Quellenanlage. Zur Nachbildung der dynamischen Speicher- und Transportvorgänge im Einflussbereich von erdgebundenen Wärmeübertragern kommen spezielle Softwarelösungen zum Einsatz, z.B. das hier verwendete Programm Earth Energy Designer (EED).

Um das Nutzungspotential der Bestandsanlage ausreichend genau bewerten zu können ist auch die Untergrundbeanspruchung durch den vorangegangenen Anlagenbetrieb nachzubilden.

Für diese Bewertung ergibt sich folgender Untersuchungsablauf:

- Bestimmung der Bemessungsparameter und -kriterien
- Zusammenfassung des bisherigen Anlagenbetriebes
- Simulation des bisherigen Anlagenbetriebes
- Ausweisung des Nutzungspotentials für ein vordefiniertes Versorgungskonzept

2 Bemessungsparameter und -kriterien

Die bei den durchgeführten Simulationen zugrunde gelegten Eingangsparameter und Bemessungskriterien werden im Folgenden zusammengefasst:

2.1 Anzahl, Tiefe, Konfiguration und Ausbauparameter der Erdwärmesonden

- Gemäß vorliegenden Informationen sind am Standort 14 Erdwärmesonden mit einer Einheits-tiefe von 100 m hergestellt worden. Diese befinden sich in zwei Reihen von 7 Stück jeweils östlich und westlich der Kita mit einem wechselseitigen Abstand von 10 m.
- Der Bohrlochausbau erfolgte mit Doppel-U-Erdwärmesonden 32 x 2,9 mm. Genaue Produktangaben für die Bohrlochverfüllung liegen nicht vor – in der Bohrdokumentation ist diese als „Dämmer – Bentonit-Suspension“ angegeben. Erfahrungsgemäß wird erwartet, dass das eingesetzte Material eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 1,1 W/(m·K) besitzt.
- Der Bohrlochdurchmesser beträgt den Dokumentationsunterlagen zufolge 180 mm.

2.2 Berücksichtigte Parameter des Untergrundes bis zu 100 m Tiefe

In-situ-Messungen zum Nachweis der standortspezifischen thermophysikalischen Untergrundparameter liegen für das Bauvorhaben nicht vor. Zur Abschätzung der Wärmeleitfähigkeit und Wärmespeicherkapazität wurde auf die dokumentierten Schichtenverzeichnisse der Bohrungen zur Herstellung des Sondenfeldes zurückgegriffen (Dokumentationsunterlagen Bohr- und Brunnenbau Panitz GmbH). Die Wärmeleitfähigkeit der dort erschlossenen Schichten (überwiegend Sand, nur untergeordnet Geschiebemergel und Schluff) kann konservativ zu etwa 2,3 W/(m·K) abgeschätzt werden. In der Standortbewertung des Geoportal LBGR Brandenburg wird für den Standort eine geringere Wärmeleitfähigkeit von 2,16 W/(m·K) bis 100 m Tiefe ausgewiesen. Die Wärmespeicherkapazität für den erwarteten Untergrund kann nach Erfahrungs- und Empfehlungswerten der VDI-Richtlinie 4640 zu 2,4 MJ/(m³·K) abgeschätzt werden.

Zur Einordnung der ungestörten Untergrundtemperatur wurde auf die Ergebnisse eines weniger als 100 m entfernten Geothermal Response Test zurückgegriffen (Schönwalder Straße, Hennigsdorf, Bericht zum GRT der H.S.W. GmbH, 2013). Dort wurde für eine Tiefe von 100 m eine mittlere Untergrundtemperatur von 11,1 °C nachgewiesen.

Berücksichtigte Untergrundparameter bis 100 m Tiefe:

- Effektive Wärmeleitfähigkeit des Untergrundes: 2,3 W/(m·K)
- mittlere Untergrundtemperatur: 11,1 °C
- geschätzte mittlere spezifische Wärmekapazität: 2,4 MJ/(m³·K)

2.3 Bemessungskriterien

- Gemäß der VDI-Richtlinie 4640 Blatt 2 (Juni 2019) muss die Auslegung von Erdwärmesonden so erfolgen, dass die Fluidtemperaturen im vorgesehenen Betriebszeitraum (innerhalb vorgegebener Grenzen) bleiben. Im Heizbetrieb soll die Eintrittstemperatur des Wärmeträgermediums in die Erdwärmesonde(n) im Monatsmittel 0 °C nicht unterschreiten. Bei Spitzenlastbetrieb (nicht oder nur kurzzeitig unterbrochener Betriebszyklus der Wärmepumpe) soll diese Temperatur nach aktuellen Landesvorgaben¹ (2023) nicht unter -3 °C liegen. Die sich einstellende Temperaturspreizung zwischen Sondenein- und -austritt wird mit 3 Kelvin angenommen. Daraus ergeben sich folgende „mittlere“ Fluidtemperaturen in den Erdwärmesonden als Bemessungsgrenze:
Grundlastbetrieb: $\geq 1,5$ °C
Spitzenlastbetrieb: $\geq -1,5$ °C
- Abweichend davon zu berücksichtigende Temperaturlimits (technisch oder genehmigungsrechtlich) lagen zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht vor.
- Die Dauer des Spitzenlastbetriebes (Maximalleistung der Wärmepumpenanlage) wird in den Simulationen entsprechend den Empfehlungen der VDI-Richtlinie 4640 für die jeweils zugrunde gelegten Volllaststunden der Wärmepumpenanlage angesetzt.
- Für den bisherigen Betrieb der Anlage werden entsprechend 16 Betriebsjahre berücksichtigt (2008 bis einschließlich 2023). Für die nachfolgende Simulation zur Auswertung des zukünftigen Nutzungspotentials wird entsprechend den Vorgaben eine Simulationsdauer von 25 Jahren angesetzt, in der die o.g. Soletemperaturgrenzen nachweislich eingehalten werden müssen.
- Der Beginn der Simulation wird mit dem Beginn der Heizperiode im September definiert.

Änderungen an den zugrunde gelegten Bemessungsrandbedingungen und -kriterien können zu deutlichen Abweichungen der Simulationsergebnisse führen. Der Auftraggeber wird daher gebeten, die verwendeten Datensätze kritisch zu bewerten/zu prüfen und Änderungen davon den Bearbeitern zur ggf. erforderlichen Anpassung der Simulation mitzuteilen.

¹ Erdwärmennutzung im Land Brandenburg, Handlungsempfehlung über Anforderungen des Gewässerschutzes bei Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Klimaschutz des Landes Brandenburg, Abteilung Wasser und Bodenschutz, 2023

2.4 Versorgungskonzept/Bedarfsdaten/Wärmepumpenbetrieb

Das nachfolgend beschriebene geothermische Versorgungskonzept und die bisherigen Nutzungsdaten der Geothermie wurden der H.S.W. GmbH durch das projektbeteiligte Ingenieurbüro Wähler aus Berlin übermittelt.

Bisheriges Versorgungskonzept/Nutzungsdaten:

- Es findet eine vollständige Abdeckung des anfallenden Heizwärme- und Warmwasserbedarfs mittels der erdgekoppelten Wärmepumpenanlage statt. Die kleinere Wärmepumpe (Vitocal 350 BWH 113) kommt dabei primär für die Warmwasserbereitstellung zum Einsatz, während die Heizwärmeversorgung durch die größere Wärmepumpe (Vitocal 300 WW 280) bereitgestellt wird.
- Eine geothermische Gebäudekühlung ist nicht Bestandteil des Versorgungskonzeptes.
- Gebäudeheizlast: Die Heizlast des Gebäudes beträgt 92 kW.
- Jahres-Gesamtwärmebedarf: Der zurückliegende Gesamtwärmebedarf (Heizen + WW) kann aus den übermittelten Betriebsdaten zur elektrischen Leistungsaufnahme abgeleitet werden. Die durchschnittliche Leistungsaufnahme der Jahre 2014 bis einschließlich 2022 lag bei 54,9 MWh/a. Unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Leistungsaufnahme der beiden Wärmepumpen von 26 kW (18,9 kW + 7,1 kW) und der dazugehörigen Kälteleistung von 72,9 kW (62,3 kW + 10,6 kW) errechnet sich der Gesamtwärmebedarf daraus zu 208,7 MWh/a (Vorgabe JAZ Heizen: 4,3 und JAZ Warmwasser: 2,49 → entspricht einer gewichteten Gesamt-JAZ von 3,8).
- Verteilung Heizwärme und Warmwasser: Aktuelle Angaben dazu, wie sich der Gesamtwärmebedarf in Warmwasser und Heizwärme unterteilt liegen nicht vor. Aus den Dokumenten zur ursprünglichen Planung geht ein Verhältnis von 85 % Heizwärme und 15 % Warmwasser hervor woraus sich aus der oben getroffenen Ableitung 177,4 MWh/a Heizwärme und 31,3 MWh/a Warmwasser ergeben.

Hinweis: Gebäudebedarfsdaten sind generell stark von klimatischen Bedingungen und von der Nutzung abhängig und können daher in der Praxis teils deutlich von den theoretisch berechneten Werten abweichen. Die H.S.W. GmbH übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der übermittelten/abgeschätzten Daten/Werte.

Wärmepumpen-/Anlagenbetrieb:

- Gemäß dem zuvor beschriebenen Versorgungskonzept erfolgte eine „monovalente“ Betriebsweise der Sole-Wasser-Wärmepumpenanlage.
- Folgende Wärmepumpen befinden sich im Bestand:

Typ/Hersteller:	Vitocal 350 BWH 113 / Viessmann
Heizleistung:	17,7 kW (B2/W65)
Min. Volumenstrom (soleseitig):	3,8 m ³ /h bzw. 0,64 l/s
Typ/Hersteller:	Vitocal 350 WW 280 / Viessmann
Heizleistung:	81,2 kW (B0/W35)
Min. Volumenstrom (soleseitig):	18,6 m ³ /h bzw. 5,17 l/s
- Aus den Dokumentationsunterlagen zur Herstellung der geothermischen Quellenanlage geht hervor, dass der erdseitige Kreis mit einem Wasser-Tyfocor-Gemisch befüllt ist (frostsicher bis -23 °C). Der Tyfocor-Anteil im Primärkreis beträgt demnach ~35 %. Für die Sole ergeben sich folgenden Parameter nach (aktuellem) Datenblatt für die entsprechende Konzentration von 35 % und einem Betrachtungspunkt von 0 °C:
 - Kinematische Viskosität: 0,00549 kg/(m·s)
 - Wärmeleitfähigkeit: 0,430 W/(m·K)
 - Wärmekapazität: 3,63 kJ/(kg·K)
 - Dichte: 1061 kg/m³
- Ein Heizlastprofil (Verteilung der Wärmeerzeugung auf die verschiedenen Monate) wurde nicht vorgegeben. Es wird ein Lastprofil entsprechend dem langjährigen Mittel (20 Jahre) der Gradtagszahlen in 16761 Hennigsdorf zugrunde gelegt (siehe auch Anlage). Die Warmwasserbereitung verteilt sich gleichmäßig über das Jahr.

3 Bewertung der bisherigen Nutzung

3.1 Nachstellung des bisherigen Anlagenbetriebes

Im Ergebnis der EED-Simulation für den bisherigen Anlagen betrieb zeigt sich, dass die theoretisch errechneten Soletemperaturen weit unterhalb der aktuell zulässigen Grenzkriterien liegen. Es ist somit davon auszugehen, dass die erwähnten Störungen des Anlagenbetriebes auf diese zu niedrige Fluidtemperaturen zurückzuführen sind.

	Soletemperatur bei Grundlast	Soletemperatur bei Spitzenlast
Soll	> +1,5 °C	> -1,5 °C
Ist im 16 BJ	-3,4 °C	-11,0 °C

Die gemäß EED-Simulation prognostizierten mittleren Fluidtemperaturen im Solekreis für die vergangenen 16 Betriebsjahre sind in der Abbildung 1 dargestellt (siehe auch Anlage 1).

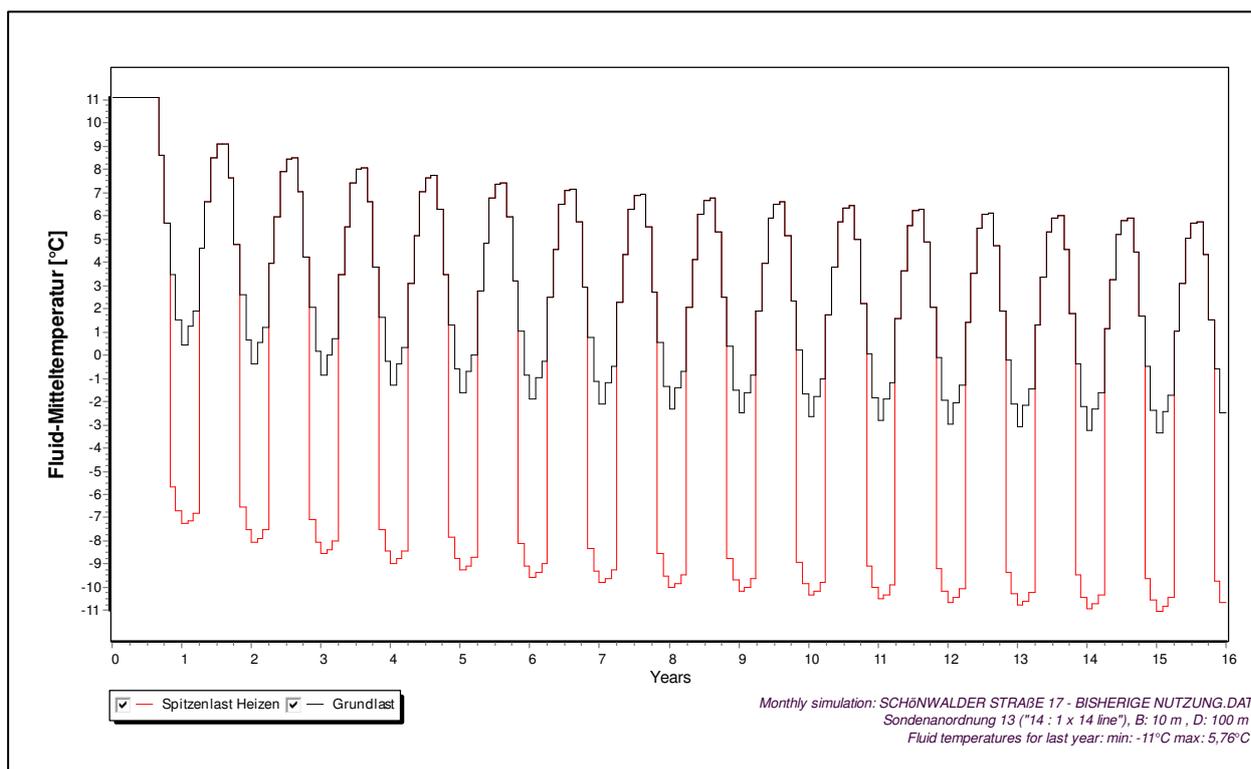


Abbildung 1: Berechneter Verlauf der mittleren Soletemperatur im 16-jährigen Betriebszeitraum (Nachstellung bisheriger Betrieb)

3.2 Abschätzung der Temperaturveränderung im umliegenden Erdreich

Bei einer sehr vereinfachten Anwendung der Kelvin'schen Linienquellentheorie, mit der generalisierten Annahme eines konstanten Wärmeentzuges über 16 Jahre (jährlicher Wärmeentzug geteilt durch 8.760 Stunden im Jahr aufgeteilt auf die Anzahl der Erdwärmesondenmeter), lässt sich die radiale Temperaturveränderung um eine Erdwärmesonde (ohne gegenseitige thermische Beeinflussung und evtl. Grundwassereinfluss) wie folgt ableiten (Abbildung 2).

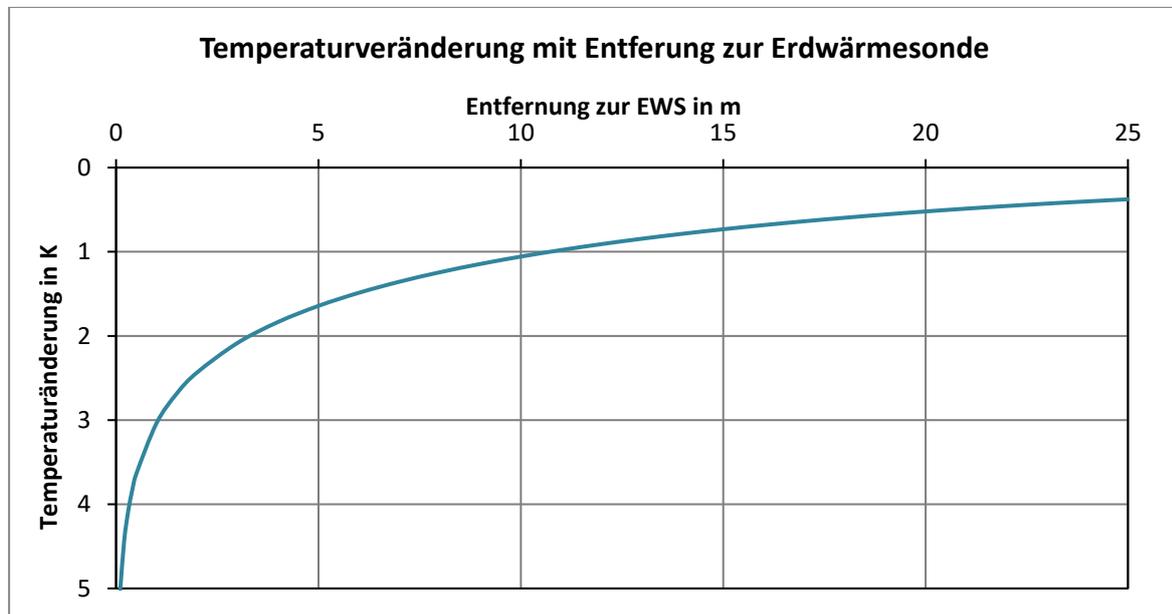


Abbildung 2: Vereinfachte Ermittlung der Temperaturveränderung im Umfeld einer Erdwärmesonde

Demnach ergibt sich die durch den Anlagenbetrieb prognostizierte Abkühlung $>1\text{K}$ für den Radius von ca. $<10\text{ m}$ um eine Erdwärmesonde und liegt damit bereits an der nächstgelegenen Erdwärmesonde (wechselseitiger Abstand der EWS zueinander = 10 m). Die Temperaturabnahme in unmittelbarer um die Erdwärmesonde beträgt ca. 5 K .

Unter Berücksichtigung der ungestörten Ausgangstemperatur von $11,1\text{ °C}$ ergibt sich die Temperatur um die Erdwärmesonden zu etwa $6,1\text{ °C}$ (ohne berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung). Dieser Wert korreliert auch sehr gut mit der ermittelten Höchst-Soletemperatur (bei Grundlast) des 16. Betrachtungsjahres von $5,8\text{ °C}$.

Im Folgenden wird angenommen, dass die Erdreichtemperatur um die Sonden ca. 6 °C beträgt.

4 Eruierung einer möglichen geothermischen Nachnutzung

4.1 Festlegung der Berechnungsparameter

Im Folgenden wird eine mögliche Nachnutzung der Bestandsanlage ausgewiesen. Da die spezifische Entzugsleistung [W/m] das Ergebnis zahlreicher Bemessungsparameter (inkl. Ansätze bezüglich des Versorgungskonzeptes) ist, kann diese nicht pauschal ausgewiesen werden. Um dennoch Aussagen treffen zu können, muss ein spezifischer Nutzungsanspruch definiert werden. Dabei wird sich an dem bisherigen Versorgungskonzept (Ansatz der Volllaststunden/a, Verteilung von Warmwasser und Heizwärme) orientiert und die Leistung [kW] der Anlage als Variable belassen. Im Ergebnis stellt sich dann die mögliche Leistungsgröße einer zu betreibenden Wärmepumpenanlage unter Einhaltung der genehmigungsrechtlichen Bemessungsgrenzkriterien ein.

Folgende Parameter werden zur Ausweisung dieser spezifischen Entzugsleistung [W/m] wie folgt definiert:

- Untergrundtemperatur: 6 °C (prognostizierte Solehöchsttemperatur nach 16 Betriebsjahren bzw. der Berechnung zur Temperaturentwicklung um eine EWS)
- Mittlere Wärmeleitfähigkeit bis 100 m Tiefe: 2,3 W/(m·K)
- Abgeschätzte Wärmekapazität: 2,4 MJ/(m³·K)
- Monatliches Lastprofil: Entsprechend Gradtagszahlen für Hennigsdorf
- Volllaststunden pro Jahr: 2.100
- Heizwärme/Warmwasser: 85 % Heizwärme, 15 % Warmwasser
- JAZ Heizen: 4,0
- JAZ Warmwasser: 3,0
- Sole: Monoethylenglykol-Wasser-Gemisch (1:3 = 25 % Glykol) | Neubefüllung
- Volumenstrom: Iterativ ermittelt in Abhängigkeit der Kälteleistung der WP unter Berücksichtigung von 3 K Temperaturspreizung
- Die übrigen Parameter der erdseitigen Quellenanlage werden wie in Kapitel 2.1 beschrieben angesetzt

4.2 Prognose des geothermischen Nutzungspotentials

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 4.1 festgelegten Parameter ist mit dem thermisch vorbelasteten Quellensystem lediglich die Nutzung einer Wärmepumpenanlage mit ~ 30 kW Heizleistung zur Bereitstellung von 53,5 MWh/a Heizwärme und 9,5 MWh/a Warmwasser denkbar (2.100 vbh/a). Die genehmigungsrechtlich vorgeschriebenen Temperaturgrenzen werden dabei im 25-jährigen Betrachtungszeitraum gemäß Simulationsergebnis eingehalten.

Änderungen einzelner Parameter (z.B. Reduzierung der jährlichen Volllaststunden und dafür Anhebung der Heizleistung) erfordern eine gesonderte Prüfung/Berechnung.

Die gemäß EED-Simulation prognostizierten mittleren Fluidtemperaturen im Solekreis sind in der Abbildung 3 dargestellt.

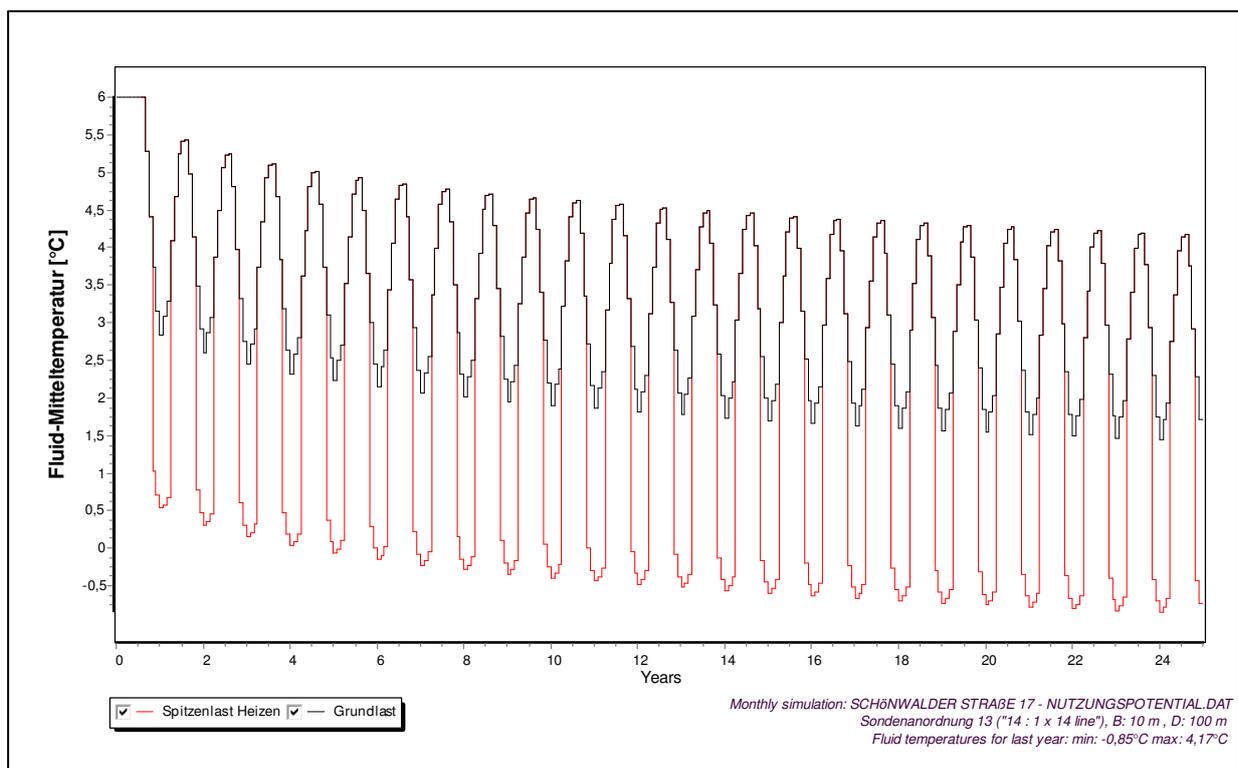


Abbildung 3: Prognostizierter Verlauf der mittleren Soletemperatur im 25-jährigen Betriebszeitraum (zukünftiger Betrieb)

Aus der Berechnung ergeben sich folgende spezifische erdseitige Werte je Meter EWS:

Entzugsleistung: 16,1 W/m

Entzugsarbeit: 33,2 kWh/(m·a)

Die im Ergebnis dargestellte spezifische Entzugsarbeit und -leistung ist neben den geologischen Standortbedingungen unter anderem maßgeblich von der Sondenfeldkonfiguration (Anzahl, Tiefe, Abstand der Sonden), von den Ausbauparametern (Bohrlochdurchmesser, Wärmeüberträgerart, Bohrlochverfüllung), vom Nutzungsverhalten (Jahreswärmebedarf, Volllaststunden der Wärmepumpe je Jahr, Betriebsweise usw.) sowie von den angesetzten Temperaturlimits abhängig.

Fazit

Aufgrund der thermischen Vorbelastung des Sondenfeldes ist eine geothermische Nachnutzung der bestehenden Erdwärmesondenanlage (14 Stück mit 100 m Einheitstiefe) stark eingeschränkt. Aus den übermittelten Betriebsdaten zum Anlagenbetrieb wurde berechnet, dass die sich Untergrundtemperatur um die Erdwärmesonden durch den 16-jährigen Betrieb von etwa 11,1 °C auf 6 °C gesenkt hat.

Ggf. besteht die Möglichkeit der thermischen Regeneration des Sondenfeldes bzw. des umliegenden Erdreiches durch die Rückführung von Wärme z.B. durch sommerliche Gebäudekühlung oder Überschusswärme aus Solarthermie. Das geothermische Nutzungspotential könnte dadurch signifikant gesteigert werden. Auch eine Erweiterung der EWS-Anlage zur Wiederherstellung der ursprünglichen Leistungsfähigkeit ist denkbar.

Ein Monitoring des späteren Anlagenbetriebes wird empfohlen. Zur Vermeidung einer thermischen Überbeanspruchung des Erdwärmesondenfeldes sollte ein Temperaturwächter, Temperatursensoren und ein Wärmemengenzähler im Solekreis installiert werden sowie ein jährlicher Abgleich der Messwerte mit den Planungsvorgaben durchgeführt werden.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'F. Hackstein'.

M.Sc. Fynn Hackstein
(Bearbeiter)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Björn Oldorf'.

Dipl.-Ing. Björn Oldorf
(Co-Bearbeiter)

Anlage | EED-Berechnungsprotokoll | Bisherige Nutzung:

EED 4.20 - www.buildingphysics.com - license for info@hsw-rostock.de
 Eingabedatei:S:\Geothermie\Brandenburg\Hennigsdorf\Schönwalder Straße
 17\Arbeit HSW\Schönwalder Straße 17 - bisherige Nutzung.DAT

DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	14
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	1400 m

E I N G A B E D A T E N (P L A N U N G)
 =====

UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,3 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,4 MJ/(m ³ ·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	11,1 °C
Geothermischer Wärmefluss	0 W/m ²

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenanordnung	13 ("14 : 1 x 14 line")
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Abstand der Erdwärmesonden	10 m
Sondentyp	Doppel-U
Bohrlochdurchmesser	180 mm
U-Rohr, Außendurchmesser	32 mm
U-Rohr, Wandstärke	2,9 mm
U-Rohr, Wärmeleitfähigkeit	0,42 W/(m·K)
U-Rohr, Mittenabstand d. U-Schenkel	74 mm
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung	1,1 W/(m·K)
Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung	0 (m·K)/W

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Bohrlochwiderstand wird berechnet
 Anzahl der Berechnungsstützpunkte 10
 Interner Wärmeübergang zw. auf- und abwärts führenden Rohren berücksichtigt

WÄRMETRÄGERMEDIUM

Wärmeleitfähigkeit	0,43 W/(m·K)
Spezifische Wärmekapazität	3630 J/(Kg·K)
Dichte	1061 Kg/m ³
Viskosität	0,0055 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-23 °C
Umwälzmenge pro Bohrloch	0,41 l/s

GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf	31,3 MWh
Jahresheizarbeit	177 MWh
Jahreskühlarbeit	0 MWh
Jahresarbeitszahl (WW)	2,49
Jahresarbeitszahl Heizen	4,3
Jahresarbeitszahl Kühlen	/

Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf	Kühlbedarf	Erdseite	
1	0,171	32,9	0	24,3
2	0,15	29,2	0	21,5
3	0,135	26,6	0	19,6
4	0,082	17,2	0	12,6
5	0,045	10,6	0,15	7,8
6	0,011	4,56	0,2	3,36
7	0,003	3,14	0,25	2,31
8	0,004	3,32	0,25	2,44
9	0,033	8,46	0,15	6,24
10	0,086	17,9	0	13,2
11	0,124	24,6	0	18,1
12	0,156	30,3	0	22,3
Gesamt	1	209	1	154

SPITZENLAST
Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühlleistung	Dauer [h]
1	98,9	14	0	0
2	98,9	14	0	0
3	98,9	12	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	98,9	12	0	0
12	98,9	14	0	0

Dauer der Simulation (Jahre)	16
Monat der Inbetriebnahme	9

B E R E C H N E T E W E R T E

=====

* Monthly calculation *

Erdwärmesondenlänge gesamt 1400 m

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Widerstand intern	0,47 (m·K)/W
Reynoldszahl	1949
Therm. Widerstand Fluid/Rohr	0,1851 (m·K)/W
Therm. Widerstand Rohrmaterial	0,07578 (m·K)/W
Übergangswiderstand Rohr/Verfüllung	0 (m·K)/W
Thermischer Widerst.Fluid/Erdreich	0,1787 (m·K)/W
Effekt. therm. Bohrlochwiderstand	0,1815 (m·K)/W

SPEZIFISCHER WÄRMEENTZUGSLEISTUNG [W/m]

Monat	Grundlast	Spitzen-Heizlast	Spitzen-Kühllast
1	23,8	52,1	0
2	21,1	52,1	0
3	19,1	52,1	0
4	12,4	0	0
5	7,64	0	0
6	3,29	0	0
7	2,26	0	0
8	2,39	0	0
9	6,1	0	0
10	12,9	0	0
11	17,7	52,1	0
12	21,8	52,1	0

GRUNDLAST: FLUID-MITTELTEMPERATUREN (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	16
1	11,1	0,42	-1,28	-2,51	-3,36
2	11,1	1,26	-0,38	-1,59	-2,44
3	11,1	1,92	0,33	-0,87	-1,71
4	11,1	4,62	3,08	1,89	1,05
5	11,1	6,63	5,13	3,95	3,12
6	11,1	8,52	7,07	5,9	5,06
7	11,1	9,08	7,66	6,51	5,68
8	11,1	9,11	7,73	6,58	5,76
9	8,61	7,63	6,28	5,15	4,33
10	5,69	4,78	3,47	2,35	1,54
11	3,46	2,59	1,31	0,2	-0,61
12	1,5	0,68	-0,58	-1,67	-2,48

GRUNDLAST: JAHR 16

Niedrigste Fluid-Mitteltemperatur -3,36 °C zum Ende Januar
 Höchste Fluid-Mitteltemperatur 5,76 °C zum Ende August

SPITZENLAST HEIZEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	16
1	11,1	-7,25	-8,95	-10,2	-11
2	11,1	-7,14	-8,78	-10	-10,8
3	11,1	-6,83	-8,42	-9,62	-10,5
4	11,1	4,62	3,08	1,89	1,05
5	11,1	6,63	5,13	3,95	3,12
6	11,1	8,52	7,07	5,9	5,06
7	11,1	9,08	7,66	6,51	5,68
8	11,1	9,11	7,73	6,58	5,76
9	8,61	7,63	6,28	5,15	4,33
10	5,69	4,78	3,47	2,35	1,54
11	-5,67	-6,53	-7,82	-8,92	-9,73
12	-6,7	-7,52	-8,78	-9,87	-10,7

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 16

minimale Fluid-Mitteltemperatur -11 °C zum Ende Januar

maximale Fluid-Mitteltemperatur 5,76 °C zum Ende August

SPITZENLAST KÜHLEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	16
1	11,1	0,42	-1,28	-2,51	-3,36
2	11,1	1,26	-0,38	-1,59	-2,44
3	11,1	1,92	0,33	-0,87	-1,71
4	11,1	4,62	3,08	1,89	1,05
5	11,1	6,63	5,13	3,95	3,12
6	11,1	8,52	7,07	5,9	5,06
7	11,1	9,08	7,66	6,51	5,68
8	11,1	9,11	7,73	6,58	5,76
9	8,61	7,63	6,28	5,15	4,33
10	5,69	4,78	3,47	2,35	1,54
11	3,46	2,59	1,31	0,2	-0,61
12	1,5	0,68	-0,58	-1,67	-2,48

SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 16

minimale Fluid-Mitteltemperatur -3,36 °C zum Ende Januar

maximale Fluid-Mitteltemperatur 5,76 °C zum Ende August

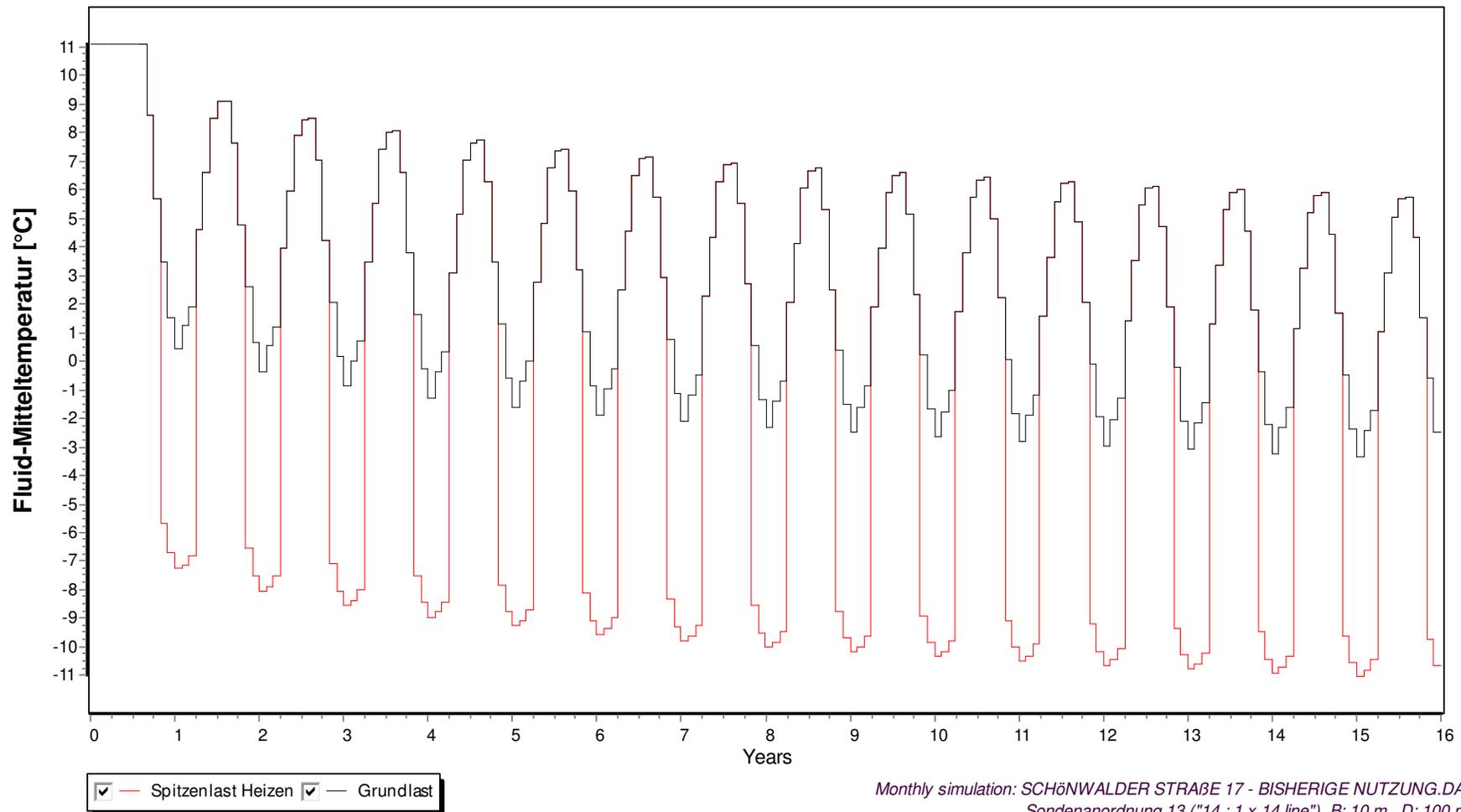


Abbildung: Temperaturmittelverlauf (Vor- + Rücklauf) über den 16-jährigen Betriebszeitraum

Anlage | EED-Berechnungsprotokoll | Nutzungspotential:

EED 4.20 - www.buildingphysics.com - license for info@hsw-rostock.de
Eingabedatei:S:\Geothermie\Brandenburg\Hennigsdorf\Schönwalder Straße
17\Arbeit HSW\SCHÖNWALDER STRASSE 17 - Nutzungspotential.DAT

DATEN KURZFASSUNG

Kosten	-
Anzahl Bohrungen	14
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Erdwärmesondenlänge gesamt	1400 m

E I N G A B E D A T E N (P L A N U N G)
=====

UNTERGRUND

Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs	2,3 W/(m·K)
Spez. Wärmekapazität des Erdreichs	2,4 MJ/(m ³ ·K)
Mittl. Temperatur d. Erdoberfläche	6 °C
Geothermischer Wärmefluss	0 W/m ²

BOHRUNG UND ERDWÄRMESONDE

Sondenanzordnung	13 ("14 : 1 x 14 line")
Tiefe der Erdwärmesonde	100 m
Abstand der Erdwärmesonden	10 m
Sondentyp	Doppel-U
Bohrlochdurchmesser	180 mm
U-Rohr, Außendurchmesser	32 mm
U-Rohr, Wandstärke	2,9 mm
U-Rohr, Wärmeleitfähigkeit	0,42 W/(m·K)
U-Rohr, Mittenabstand d. U-Schenkel	77 mm
Wärmeleitfähigkeit der Verfüllung	1,1 W/(m·K)
Übergangswiderst. Rohr/Verfüllung	0 (m·K)/W

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Thermischer Bohrlochwiderstand wird berechnet
Anzahl der Berechnungspunkte 10

WÄRMETRÄGERMEDIUM

Wärmeleitfähigkeit	0,47 W/(m·K)
Spezifische Wärmekapazität	3850 J/(Kg·K)
Dichte	1044 Kg/m ³
Viskosität	0,0038 Kg/(m·s)
Gefrierpunkt	-12 °C
Umwälzmenge pro Bohrloch	0,17 l/s

GRUNDLAST

Jährlicher Warmwasserbedarf	9,5 MWh
Jahresheizarbeit	53,5 MWh
Jahreskühlarbeit	0 MWh
Jahresarbeitszahl (WW)	3
Jahresarbeitszahl Heizen	4
Jahresarbeitszahl Kühlen	/

Monatliches Bedarfsprofil [MWh]

Monat	Wärmebedarf	Kühlbedarf	Erdseite	
1	0,171	9,94	0	7,39
2	0,15	8,82	0	6,55
3	0,135	8,01	0	5,94
4	0,082	5,18	0	3,82
5	0,045	3,2	0,15	2,33
6	0,011	1,38	0,2	0,97
7	0,003	0,95	0,25	0,65
8	0,004	1,01	0,25	0,69
9	0,033	2,56	0,15	1,85
10	0,086	5,39	0	3,98
11	0,124	7,43	0	5,5
12	0,156	9,14	0	6,79
Gesamt	1	63	1	46,5

SPITZENLAST
Monatliche Spitzenlast [kW]

Monat	Spitzen-Heizlast	Dauer	Spitzen-Kühlleistung	Dauer [h]
1	30	14	0	0
2	30	14	0	0
3	30	12	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
11	30	12	0	0
12	30	14	0	0

Dauer der Simulation (Jahre)	25
Monat der Inbetriebnahme	9

B E R E C H N E T E W E R T E

=====

* Monthly calculation *

Erdwärmesondenlänge gesamt 1400 m

THERMISCHE WIDERSTÄNDE

Reynoldszahl	1144
Therm. Widerstand Fluid/Rohr	0,1693 (m·K)/W
Therm. Widerstand Rohrmaterial	0,07578 (m·K)/W
Übergangswiderstand Rohr/Verfüllung	0 (m·K)/W
Thermischer Widerst.Fluid/Erdreich	0,1696 (m·K)/W
Effekt. therm. Bohrlochwiderstand	0,1696 (m·K)/W

SPEZIFISCHER WÄRMEENTZUGSLEISTUNG [W/m]

Monat	Grundlast	Spitzen-Heizlast	Spitzen-Kühlleistung
1	7,23	16,1	0
2	6,41	16,1	0
3	5,82	16,1	0
4	3,74	0	0
5	2,28	0	0
6	0,95	0	0
7	0,63	0	0
8	0,67	0	0
9	1,81	0	0
10	3,89	0	0
11	5,38	16,1	0
12	6,64	16,1	0

GRUNDLAST: FLUID-MITTELTEMPERATUREN (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	25
1	6	2,84	2,32	1,95	1,44
2	6	3,09	2,59	2,22	1,72
3	6	3,28	2,8	2,44	1,93
4	6	4,08	3,62	3,26	2,76
5	6	4,68	4,23	3,88	3,38
6	6	5,25	4,81	4,46	3,96
7	6	5,42	4,99	4,64	4,15
8	6	5,43	5,01	4,67	4,17
9	5,28	4,99	4,58	4,24	3,75
10	4,41	4,14	3,74	3,4	2,92
11	3,74	3,48	3,1	2,76	2,28
12	3,16	2,91	2,53	2,2	1,72

GRUNDLAST: JAHR 25

Niedrigste Fluid-Mitteltemperatur 1,50 °C zum Ende Januar
 Höchste Fluid-Mitteltemperatur 4,17 °C zum Ende August

SPITZENLAST HEIZEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	25
1	6	0,54	0,03	-0,34	-0,85
2	6	0,58	0,083	-0,28	-0,79
3	6	0,67	0,2	-0,17	-0,67
4	6	4,08	3,62	3,26	2,76
5	6	4,68	4,23	3,88	3,38
6	6	5,25	4,81	4,46	3,96
7	6	5,42	4,99	4,64	4,15
8	6	5,43	5,01	4,67	4,17
9	5,28	4,99	4,58	4,24	3,75
10	4,41	4,14	3,74	3,4	2,92
11	1,03	0,77	0,38	0,047	-0,44
12	0,71	0,47	0,085	-0,24	-0,73

SPITZENLAST HEIZEN: JAHR 25

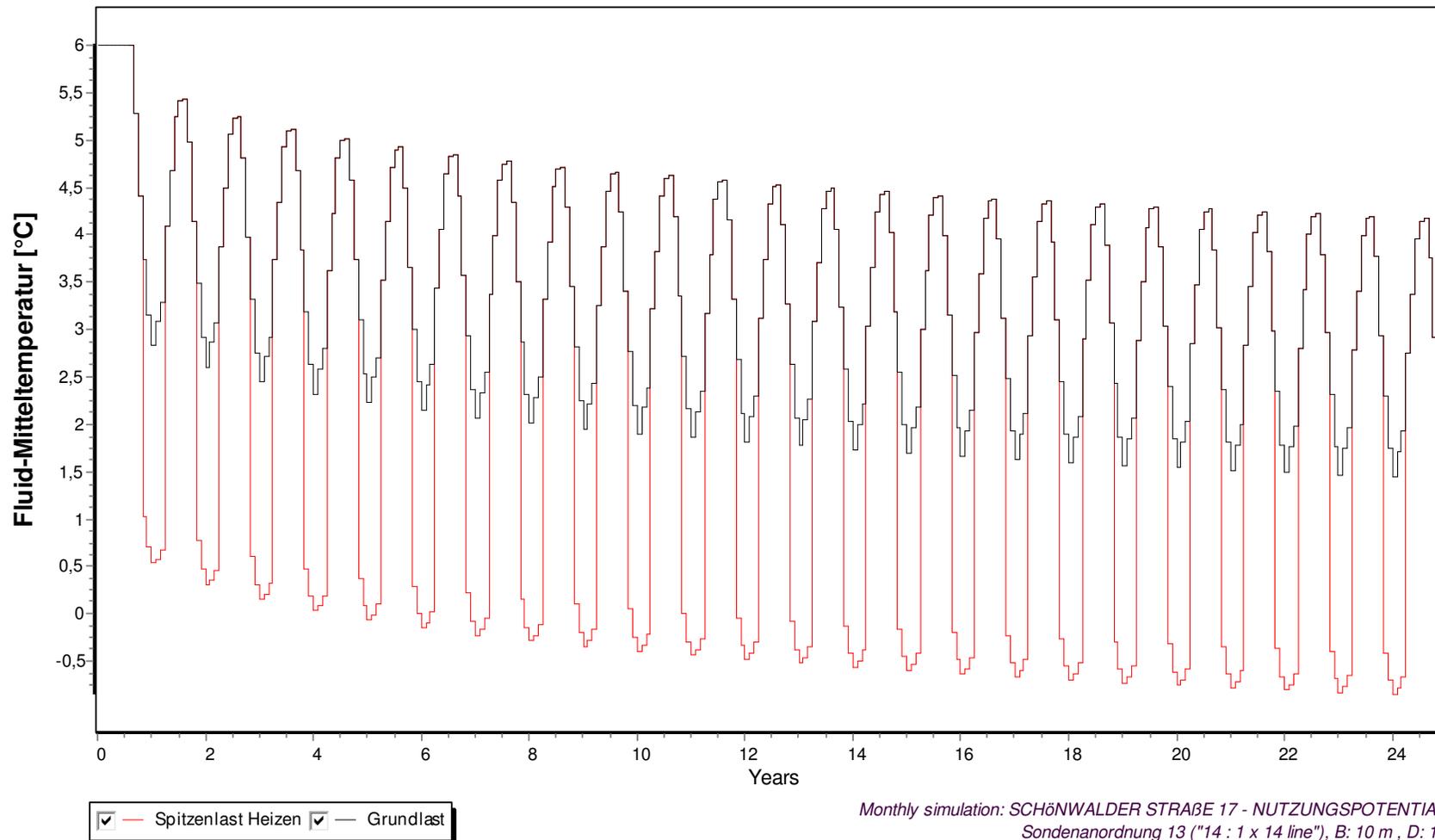
minimale Fluid-Mitteltemperatur -0,85 °C zum Ende Januar
 maximale Fluid-Mitteltemperatur 4,17 °C zum Ende August

SPITZENLAST KÜHLEN: FLUID-MITTELTEMPERATUR (zum Monatsende) [°C]

Jahr	1	2	5	10	25
1	6	2,84	2,32	1,95	1,44
2	6	3,09	2,59	2,22	1,72
3	6	3,28	2,8	2,44	1,93
4	6	4,08	3,62	3,26	2,76
5	6	4,68	4,23	3,88	3,38
6	6	5,25	4,81	4,46	3,96
7	6	5,42	4,99	4,64	4,15
8	6	5,43	5,01	4,67	4,17
9	5,28	4,99	4,58	4,24	3,75
10	4,41	4,14	3,74	3,4	2,92
11	3,74	3,48	3,1	2,76	2,28
12	3,16	2,91	2,53	2,2	1,72

SPITZENLAST KÜHLEN: JAHR 25

minimale Fluid-Mitteltemperatur 1,50 °C zum Ende Januar
 maximale Fluid-Mitteltemperatur 4,17 °C zum Ende August



Monthly simulation: SCHÖNWALDER STRAßE 17 - NUTZUNGSPOTENTIAL.DAT
 Sondenanordnung 13 ("14 : 1 x 14 line"), B: 10 m, D: 100 m
 Fluid temperatures for last year: min: -0,85°C max: 4,17°C

Abbildung: Temperaturmittelverlauf (Vor- + Rücklauf) über den 25-jährigen Betrachtungszeitraum