

TEILSTUDIE
**POTENZIALE DER
NUTZUNG VON UMWELTWÄRME
IN DER LHP**

The graphic consists of several overlapping geometric shapes. A large green shape is on the left, with a dark green triangle on top. A bright blue shape is on the right, overlapping the green one. Below these, there are more green and dark green shapes, creating a layered, architectural effect.

Impressum

Auftraggeber

Landeshaupt Potsdam
Koordinierungsstelle Klimaschutz
Friedrich-Ebert-Str. 79/81
14469 Potsdam



Auftragnehmer und Autoren

BLS Energieplan GmbH

Christoph Lange, Ralph Klebsch, Antonia Faber, Jan Schönewolf,
Martin Thur, Christian Laakmann, Frank Hollandt,
Stefan Türkowsky



LUP – Luftbild Umwelt Planung GmbH

Gregor Weyer, Antje Knorr, Leilah Haag



Dr. Maren Brehme

Stand

Juli 2017

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz,
Bau und Reaktorsicherheit



NATIONALE
KLIMASCHUTZ
INITIATIVE

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	7
1 Einführung	9
2 Technische Grundlagen	11
3 Flusswasserwärme	17
3.1. Untersuchungsraum	17
3.2. Rechtliche Grundlagen	18
3.2.1. Wasserrechtliche Grundlagen.....	18
3.2.2. Naturschutzrechtliche Grundlagen	21
3.2.3. Sonstige Rechtsgrundlagen	22
3.3. Potenzialabschätzung Flusswasserentnahme	23
3.3.1. Allgemeines und Herangehensweise.....	23
3.3.2. Rahmenbedingungen	23
3.3.3. Abschätzung Gesamtpotenzial der Wärmequelle	24
3.3.4. Abschätzung technisch nutzbares Wärmepotenzial.....	25
3.3.5. Abschätzung Gesamtpotenzial Wärmesenke	29
3.3.6. Geeignete Gebiete für die thermische Nutzung von Flusswasser in Potsdam.....	31
3.4. Praxisbeispiele	36
3.5. Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Beispielanlage.....	38
3.6. Fazit	40
4 Oberflächennahe Geothermie	41
4.1. Allgemeines und Herangehensweise.....	41
4.2. Rahmenbedingungen	42
4.3. Abschätzung Gesamtpotential der oberflächennahen Geothermie	44

5	Mittlere und tiefe Geothermie	47
	Literaturverzeichnis.....	49

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1	Schematische Darstellung des Prinzips einer Wärmepumpe (Quelle: Tholen und Walkerhertkorn, 2007)	11
Abb. 2-2	Schematische Darstellung verschiedener Erdwärmesysteme der oberflächennahen Geothermie (Quelle: StMWi, 2017).....	14
Abb. 2-3	Schematische Darstellung verschiedener Erdwärmesysteme der mitteltiefen und tiefen Geothermie (Quelle: Frische et al., 2010)	15
Abb. 3-1	Ganglinien der Wasser- (Tw) und Lufttemperatur (Tl) am Messstandort Tiefer See in Potsdam.....	24
Abb. 3-2	Überprüfung minimale Entnahmetemperatur 2 °C	25
Abb. 3-3	Überprüfung Entnahmetemperatur 6 °C.....	25
Abb. 3-4	Analyse Entnahmetemperatur außerhalb der Heizperiode	26
Abb. 3-5	Durchflussganglinien der Havelmessstellen und des EHK 2014/2015	27
Abb. 3-6	Mischwassertemperaturwerte in Abhängigkeit von der Entnahmerate (Schwinghammer, 2012)	28
Abb. 3-7	Unterteilung der Durchflussganglinie in Abschnitte unterschiedlicher Durchflussraten.....	29
Abb. 3-8	Überprüfung maximale Entnahmetemperatur 24 °C	30
Abb. 3-9	Überprüfung Entnahmetemperatur 20 °C	30
Abb. 3-10	Übersichtskarte zu Analyse der geeigneten Gebiete für die thermische Nutzung von Oberflächengewässern und deren Randbedingungen wie Schutzgebiete, Neubauplanungen und festgelegter Suchkorridor.	33
Abb. 3-11	Verbleibende potenziell geeignete Gebiete im Suchraum und Planungsräume von Potsdam.....	34
Abb. 3-12	Ausschnitt der Innenstadt von Potsdam (aus Abb. 3-11).....	35
Abb. 4-1	Darstellung des Flächenpotentials zur Nutzung oberflächennaher Geothermie (Quelle: eigene Berechnung)	43

Tabellenverzeichnis

Tab. 3-1	Auflagen der Stadt Lauterecken (Schwinghammer, 2012).....	20
Tab. 3-2	Rahmenbedingungen der Potentialabschätzung	24
Tab. 3-3	Abschätzung maximale Entzugsleistung und -arbeit der Wärmequelle.....	24
Tab. 3-4	Durchflussraten des Havelabschnitts Potsdam-Phöben, Hauptwerte 2005-2014 (statistische Werte)	26
Tab. 3-5	Ermittlung jährliche Entzugsarbeit bei Entnahmerate 5 %	29
Tab. 3-6	Ermittlung jährliche Entzugsarbeit bei Entnahmerate 10 %.....	29
Tab. 3-8	Technische Daten und Sollwerte der Wärmepumpe in Singen (Quelle: Söder, o. J.).....	36
Tab. 3-9	Technische Daten und Sollwerte der Wärmepumpe in Lauterecken (Quelle: Schwinghammer, 2012; Dürr, 2011)	37
Tab. 3-10	Details der Beispielanlage.....	38
Tab. 3-11	Kapitalgebundene Kosten	39
Tab. 3-12	Betriebsgebundene Kosten.....	39
Tab. 3-13	Verbrauchsgebundene Kosten.....	39
Tab. 3-14	Erlöse.....	40
Tab. 3-15	Zusammenfassung der Kosten und Erlöse	40
Tab. 4-1	Annahmen und Abschätzung des Gesamtwärmepotenzials von Erdwärmesonden	44

1 Einführung

Mit der Masterplan-Richtlinie werden im Klimaschutz besonders engagierte und vernetzte Kommunen gefördert, die ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 um 95 Prozent und ihren Endenergieverbrauch um 50 Prozent gegenüber 1990 senken wollen. Zu diesen Zielen hat sich die Landeshauptstadt Potsdam bekannt und profitiert bis 2020 von der Exzellenzförderung des Bundesumweltministeriums (BMUB). Im ersten Schritt ist die Erstellung eines Masterplan-Konzeptes unter Einbeziehung aller relevanten Akteure und der Zivilgesellschaft geplant. Parallel dazu erfolgt die Erarbeitung von vertiefenden Teilstudien.

In Potsdam sollen in einer Teilstudie die Nutzungsmöglichkeiten von Umweltwärme geprüft werden. Neben der oberflächennahen sowie mitteltiefen und tiefen Geothermie wird auch die Nutzung von Flusswasser als Wärme- und Kältequelle untersucht. Für Potsdam kann aufgrund der vielen Uferkilometer der Havel und ufernaher verdichteter Neubau- wie Sanierungsvorhaben mit einem hohen Potenzial gerechnet werden. Die Ziele der Teilstudie sollen Folgendes beinhalten:

- Ausweisung von Gebieten, die aufgrund der Verfügbarkeit des Umweltwärmepotenzials besonders geeignet sind,
- Erarbeitung von Zielen für verwaltungsinterne Vorgaben zur Genehmigung von Anlagen zur Nutzung von Umweltwärme,
- Kosten-Nutzen-Relation und Beschreibung der notwendigen wirtschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen für eine Nutzung der Umweltwärme.

Die thermische Nutzung von Fluss- oder Seewasser ist bisher noch wenig betrachtet und umgesetzt worden (Schwinghammer, 2012). Grund hierfür können unter anderem die großen Herausforderungen an die Wärmetauscher und die Rohrleitungen auf der Flusswasserseite sein. In dem System lagern sich nach kurzer Zeit Sedimente ab und Organismen, wie Wandermuscheln siedeln sich an, was einen hohen Wartungsaufwand verursacht. Aber auch die die strengen wasserrechtlichen und ökologischen Genehmigungsvoraussetzungen können eine Ursache sein. Jedoch zeigen einige Projekte in Deutschland und insbesondere der Schweiz, dass eine solche Nutzung möglich und praktisch durchführbar ist.

2 Technische Grundlagen

Zunächst soll das grundlegende Prinzip einer Wärmepumpe erklärt und dargestellt werden. Eine Wärmepumpe kann ebenso als Kältemaschine funktionieren, wobei die im Folgenden genannten Bauteile Verdampfer und Kondensator lediglich getauscht werden. Die Funktionsweise ist im Allgemeinen unabhängig von der benutzten Wärmequelle.

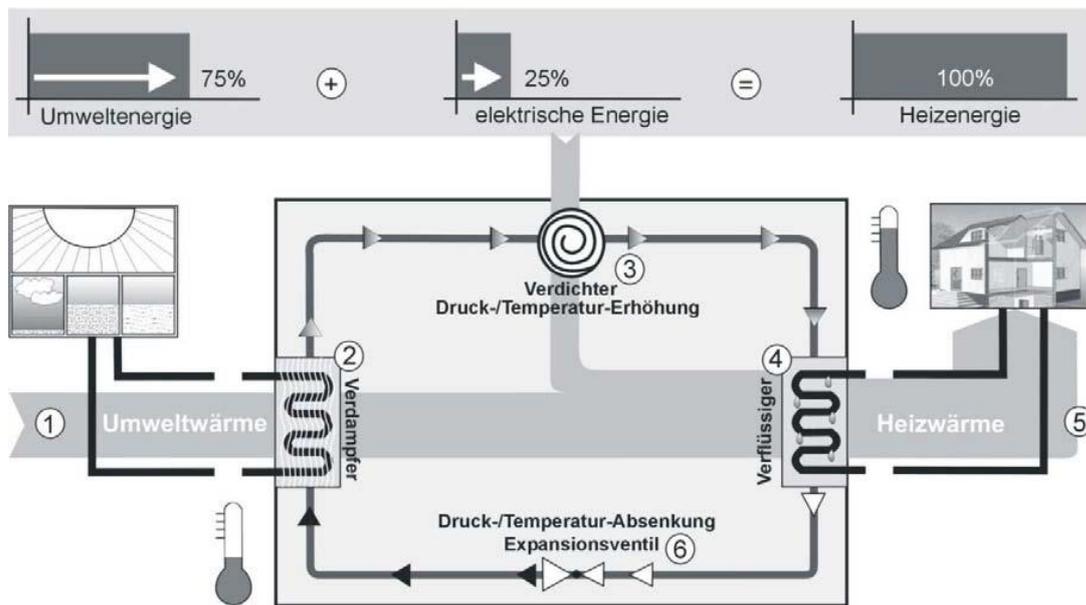


Abb. 2-1 Schematische Darstellung des Prinzips einer Wärmepumpe
(Quelle: Tholen und Walkerhertkorn, 2007)

Im Heizfall wird das Wärmemedium (hier Erdwärme bzw. Flusswasser) an die Wärmeträgerflüssigkeit (Sole im Falle einer häufig angewendeten Sole/Wasser-Wärmepumpe) übertragen (1). Diese wird am sogenannten Verdampfer vorbeigeleitet, wobei die Wärmeenergie auf ein Kältemittel übertragen wird, was in der Folge verdampft (2). Der Dampf des Kältemittels wird anschließend vom Verdichter angesaugt und komprimiert (3). Durch die Erhöhung des Drucks steigt auch die Temperatur des Dampfes. Im nächsten Schritt kondensiert der Kältemitteldampf wieder, da das verhältnismäßig kühlere Heizungswasser aus dem Heizungskreislauf die Wärme des Kältemittels aufnimmt (4). Das Heizungswasser wird im Sekundärkreislauf der Heizung genutzt und gelangt abgekühlt wieder zum Kondensator für einen erneuten Kreislauf (5). Das verflüssigte Kältemittel wird mithilfe eines Expansionsventils entspannt, wobei es weiter abkühlt (6). Es steht für einen neuen Kreislauf im Verdampfer zur Verfügung. Für den Heizfall würde, diesem Prinzip folgend, dem Erdreich bzw. dem Gewässer Wärme entzogen, für den Kühlfall entsprechend zugeführt werden. Hinsichtlich der Nutzungsart der Wärmepumpen ergeben sich zwei Varianten mit entsprechenden Vor- und Nachteilen (Paschotta, 2016):

- Monovalente Systeme erzeugen das ganze Jahr über Wärme/Kälte und decken auch Spitzenlasten ab. Sie müssen so konzipiert sein, dass sie mit den geringen Temperaturen im Winter ebenso effizient arbeiten können wie mit den hohen Temperaturen im Sommer. Hier ist ein leistungsgeregeltes System anzuraten, das sich dem jeweiligen Heizbedarf anpasst. Vorteile zeigen sich im Platzbedarf und bei den Investitions- und Wartungskosten.
- Bivalente Systeme sind mit anderen Heizsystemen gekoppelt, um bei Spitzenlasten oder an kalten Tagen eine störungsfreie Wärmeversorgung zu gewährleisten. Die Konzipierung des Anlagensystems ist aufwendiger, weshalb dieses System eher für größere Anlagen vorgesehen ist. Andererseits kann eine Wärmepumpen-Anlage, die nur zur Grundlastdeckung eingesetzt wird, kosten- und ressourcengünstiger geplant werden.

Um effizient funktionieren zu können, sind unterschiedliche technische und standörtliche Parameter im Vorfeld zu berücksichtigen, die sich am bestehenden/zu installierenden Heizungssystem und dem Modell der Wärmepumpe orientieren, wie etwa die Vorlauftemperatur der Heizungsanlage, das Wärmeträgermedium der Wärmepumpe, das Kühlmittel im Primärkreislauf, die erreichbare Leistungszahl/Jahresarbeitszahl und die Wärmeentzugsleistung der Wärmequelle. Im Optimalfall wird eine Niedertemperaturheizung mit geringer Vorlauftemperatur, wie z. B. Fußbodenheizung, benutzt. Jedoch ist auch der Betrieb eines konventionellen Heizungssystems mit hoher Vorlauftemperatur möglich, was insbesondere in denkmalgeschützten Gebäuden von Vorteil sein kann. Neben der Wahl der Betriebsweise der Wärmepumpe gilt es auch bei der Erschließung der Umweltwärme eine Technologieauswahl zu berücksichtigen. Für die verschiedenen Formen von Umweltwärme stehen unterschiedliche Technologien zur Verfügung, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Flusswasserwärme

Für die Nutzung von Flusswasserwärme stehen zwei Systeme zur Verfügung, die sich im Prinzip nur darin unterscheiden, ob Wasser aus dem Fluss entnommen wird oder nicht. Für beide Systeme ist der Einbau eines Zwischenkreislaufs zur Verbesserung der Betriebs- und/oder ökologischen Sicherheit möglich bzw. kann genehmigungsseitig vorgeschrieben werden. Beispielsweise ist es möglich, eine Wärmeträgerflüssigkeit mit Frostschutzzusatz zu verwenden, um bei sehr geringen Gewässertemperaturen eine mögliche Beschädigung des Verdampfers zu verhindern.

- Offene Systeme sind durch eine tatsächliche Wasserentnahme und -abgabe gekennzeichnet. Bei ihnen wird das Wasser durch ein Leitungs-/Rohrsystem dem Fluss entnommen und gelangt außerhalb des Gewässers zur Wärmepumpe. Bei diesen Anlagen muss eventuell mit einem größeren baulichen Aufwand gerechnet werden.
- Geschlossene Systeme funktionieren ohne Wasserentnahme oder -abgabe, sie werden direkt im Gewässer eingesetzt. Hier muss insbesondere bezüglich ökologischer Risiken abgewogen werden.

Oberflächennahe Geothermie

Die Nutzung von oberflächennaher Geothermie ist die einfachste Form der Geothermienutzung. In Tiefen von 1 bis 400 m wird dem Erdreich Wärme entzogen, wobei ab 101 m bereits von mitteltiefer Geothermie gesprochen wird. Hintergrund ist, dass bis zu einer Tiefe von 100 m auf eigenem Grund und bei nicht gewerblicher Nutzung das Bergbaurecht keine Anwendung findet. Es stehen verschiedenste Systeme zur Gewinnung von oberflächennaher Geothermie zur Verfügung. In Abb. 2-2 sind die gängigsten Systeme dargestellt.

Die Systeme können in Kollektoren, Brunnen und Sonden unterteilt werden. Zu den Kollektoren zählt der Erdwärmekollektor, der in Tiefen von zwei bis 2–4 m installiert wird, aber auch der Erdwärmekorb mit einer Installationstiefe von 4–8 m. Im Kollektor zirkuliert ein Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch welches die Wärme aus dem Erdreich aufnimmt und an die Wärmepumpe übergibt. Der Erdwärmekollektor wird horizontal verlegt und benötigt eine nicht überbaubare Freifläche von in der Regel dem 1,5- bis 2-fachen der zu beheizenden Fläche. Der Erdwärmekorb ist platzsparender, da er sich auch in die Vertikale erstreckt. Beide Kollektoren zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Vergleich zu den Brunnen und Sonden vergleichsweise kostengünstig sind. Jedoch variiert die Temperatur in Tiefen bis 10 m über den Jahresverlauf, da der Wärmeeintrag in diesen Tiefen vor allem durch sommerliche Sonneneinstrahlung geprägt ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass im Winter mit höchstem Wärmebedarf der schlechteste Wirkungsgrad angesetzt werden muss.

Brunnen-Systeme profitieren von der nahezu konstanten Temperatur (7-12 °C) des Grundwassers in Tiefen von 5-20 m. Über einen Förderbrunnen wird das Grundwasser zur Wärmepumpe befördert, dort wird dem Wasser die Wärme entzogen und über einen Schluckbrunnen wieder in das Erdreich eingeleitet. Jedoch werden an das Brunnensystem hohe Anforderungen gestellt, und sie sind durch die Untere Wasserbehörde genehmigungspflichtig.

Sondensysteme sind die am weitesten verbreiteten Systeme. Hier wird eine Bohrung bis in 100 m Tiefe durchgeführt, in die ein bis mehrere U-Rohre bzw. ein Koaxial-Rohr eingelassen und dann mit einem hoch wärmeleitfähigen Spezialzement verfüllt werden. Durch die große Tiefe steht wie bei Brunnensystemen eine nahezu gleichbleibende Temperatur über den Jahresverlauf zur Verfügung. Dadurch eignen sich diese Systeme sehr gut für den monovalenten Betrieb. Über den Sommer regeneriert die Sonde über nachströmende Wärme aus dem Erdinneren bzw. bei hohen Entzugsleistungen kann durch Solarthermie oder bei Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe im Kühlbetrieb Wärme in das Erdreich zurück gespeist werden.

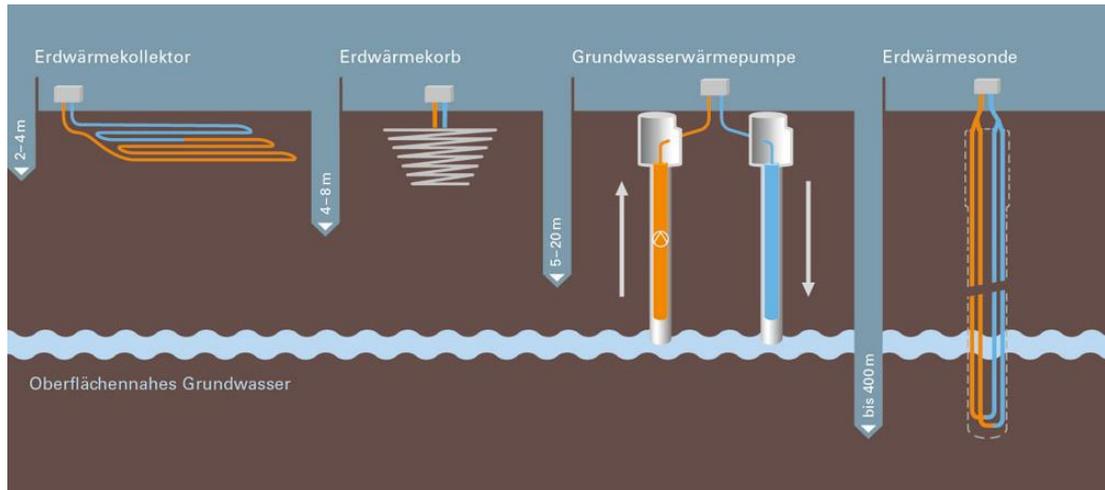


Abb. 2-2 Schematische Darstellung verschiedener Erdwärmesysteme der oberflächennahen Geothermie (Quelle: StMWi, 2017)

Mitteltiefe und tiefe Geothermie

Die Nutzung von Geothermie in einer Tiefe größer als 100 m wird als mitteltiefe Geothermie bezeichnet, ab einer Tiefe von 1.000 m und einer Temperatur von mehr als 60 °C beginnt die tiefe Geothermie. In Abhängigkeit von Temperatur und Tiefe kann die Erdwärme mitunter direkt (ohne den Einsatz von Wärmepumpen) genutzt werden. Dabei wird entweder im Untergrund vorhandenes Heißwasser oder injiziertes und durch die Untergrundwärme aufgeheiztes Wasser an die Oberfläche gepumpt und das Temperaturniveau zur direkten Beheizung von Gebäuden verwendet. Bei entsprechend hohen Temperaturen des Untergrundes (höher als 100 °C) und des in ihm enthaltenen Grundwassers sind neben der Bereitstellung von Heizwärme weitergehende Nutzungen, wie die Erzeugung von Strom und direkte Nutzung für Fernwärme möglich (Fritsche et al, 2010).

Die in der oberflächennahen Geothermie verbreitete indirekte Erdwärmennutzung in Form von Erdwärmesonden (mit Wärmeträgermedium) ist bei mitteltiefer und tiefer Geothermie ebenfalls möglich und wird vor allem bei geringen Tiefen und Temperaturen eingesetzt (siehe Abb. 2-3).

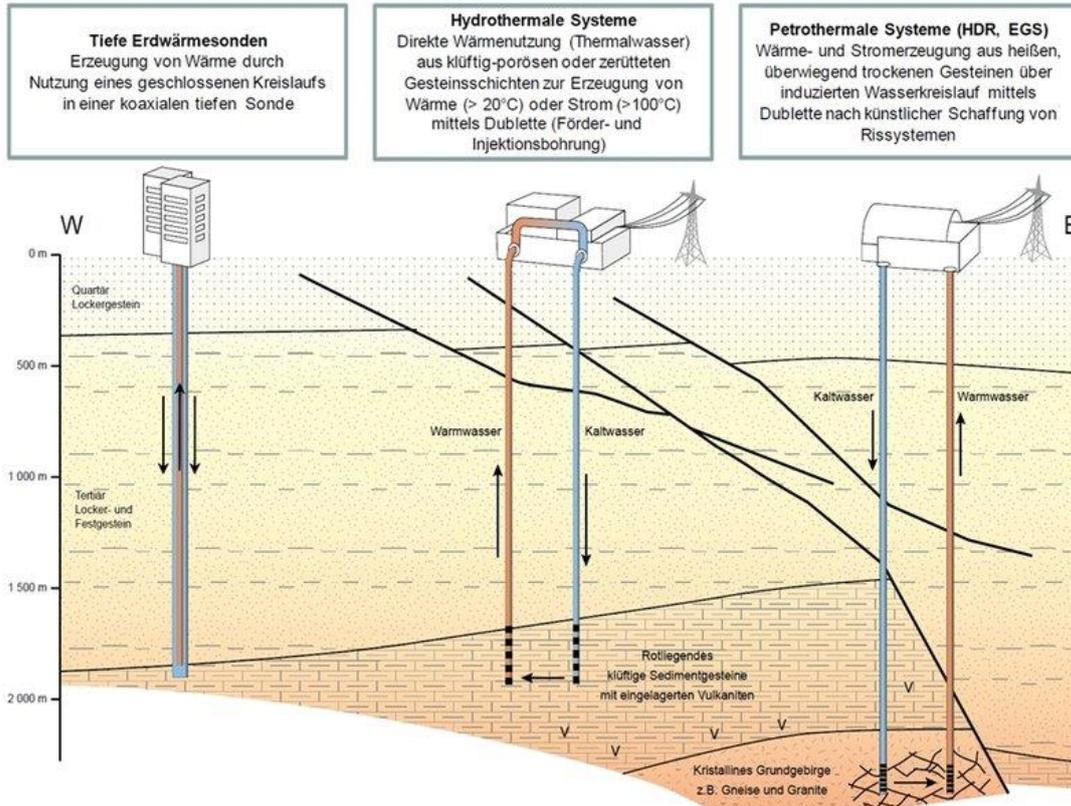


Abb. 2-3 Schematische Darstellung verschiedener Erdwärmesysteme der mitteltiefen und tiefen Geothermie (Quelle: Frische et al., 2010)

3 Flusswasserwärme

3.1. Untersuchungsraum

Der Untersuchungsraum ist geprägt von einer reichen Fluss- und Seenlandschaft der Jungmoränenlandschaft des norddeutschen Tieflandes. Die Gewässer gehören überwiegend zu einem Teilabschnitt der Havel (Mittlere Havel), der vom Jungferensee bis zum Göttingsee auch als Potsdamer Havel bezeichnet wird. Die Potsdamer Havel verläuft bogenförmig zuerst nach Süden, dann biegt sie im Bereich Schielowsee nach Norden ab. Sie ist eine 29 km lange Aneinanderreihung großer, oft flacher Seen, immer wieder verbunden durch schmalere Flussabschnitte (Badegewässerprofil Tiefer See). Sie ist ein Gewässer 1. Ordnung und damit eine Bundeswasserstraße.

Laut Typisierung und Steckbrief gehören die Seen in Potsdam zu der Ökoregion „Zentraleuropäisches Tiefland“ und hier vorwiegend zum Typ 12 „Flusseen im Tiefland“ (Riedmüller et al. 2013). Demnach sind sie in ihrem natürlichen Zustand allgemein charakterisiert als kalkreiche, ungeschichtete (oder mit kurzen Schichtungsphasen von weniger als drei Monaten) Seen mit sehr großem Einzugsgebiet und einer kurzen Verweilzeit des Wassers zwischen 3 und 30 Tagen. Hydrologisch sind sie durch starke Wasserstands- und Durchflussschwankungen gekennzeichnet. Bis auf in besonders windarmen Schönwetterperioden mit gleichzeitig geringem Abfluss weisen sie zumeist keine Temperaturgradienten auf.

Die Potsdamer Stadtteile Berliner Vorstadt, Babelsberg Nord, Nördliche- und Südliche Innenstadt, Templiner Vorstadt, Potsdam West und Forst Potsdam Süd prägen vor allem folgende Flusseen der Potsdamer Havel, die teilweise auch über das Stadtgebiet hinaus reichen: Jungferensee, Tiefer See, Templiner See und Großer Zernsee. Der Sacrow-Paretzer-Kanal, der vor allem die Stadtteile Sacrow, Neu Fahrland, Fahrland, Bornim und Marquardt durchfließt, wurde errichtet, um den schwierigen Schifffahrtsweg durch die Potsdamer Havelgewässer zu verkürzen. Er durchquert den Weißen See, den Fahrländer See und den Schlänitzsee. Weitere Seen im Stadtgebiet sind der Sacrower See, der Groß Glienicker See, der Heilige See, der Krampnitz- und der Lehnitzsee. Sie befinden sich ausschließlich im Nordosten der Stadt.

Die größten geplanten Neubauvorhaben gemäß Gestaltplan der Stadt Potsdam sowie die Neubaupotenziale aus dem Stadtentwicklungskonzept Wohnen (Fortschreibung 2015) befinden sich im Planungsraum 102 (Neu Fahrland, Fahrland, Satzkorn, Marquardt, Uetz-Paaren), im Planungsraum 201 (Bornim, Bornstedt, Nedlitz, Am Ruinenberg, Rote Kasernen), im Planungsraum 202 (Eiche, Grube, Golm) sowie im Planungsraum 601 (Hauptbahnhof, Brauhausberg, Templiner und Teltower Vorstadt). In der Innenstadt (PR 302) und in Babelsberg Süd (PR 403) ist ebenfalls ein beachtliches Wohnungsbaupotenzial zu finden. Insbesondere das ehemalige Kasernengelände Krampnitz, Teile der Planungen im Bornstedter Feld sowie die Planungen im Innenstadtbereich liegen in unmittelbarer Nähe zu Gewässern.

In diesen Bereichen liegen möglicherweise die größten Potenziale zur thermischen Nutzung des Oberflächengewässers.

3.2. Rechtliche Grundlagen

Der Betrieb einer Anlage zur thermischen Nutzung des Oberflächengewässers kann technisch und baulich unterschiedlich ausgelegt sein (siehe Kapitel 1). Daher ergeben sich je nach Bauart, Umsetzung und Lage unterschiedliche Anforderungen und Schutzziele. Bisher gibt es im Land Brandenburg dazu noch keinerlei Erfahrungswerte, insbesondere nicht zu Grenzwerten und Auflagen. Im Rahmen dieser Teilstudie gab es diesbezüglich eine Gesprächsrunde mit Experten aus den betroffenen Fachabteilungen des Landesumweltamtes Brandenburg. Vertreten waren die Obere Wasserbehörde, die Bereiche Gewässerökologie und Oberflächengewässergüte, Gewässerentwicklung sowie Naturschutz. Im Gespräch konnten die rechtlichen Rahmenbedingungen geschärft werden, jedoch stellte sich heraus, dass es konkretere Planungen mit zugehörigen Unterlagen/Untersuchungen, die sich einzelfallbezogen ergeben, braucht, um die Genehmigungsfähigkeit zu prüfen. Es wurde aber auch betont, dass grundsätzlich nichts gegen die Errichtung entsprechender Anlagen spricht.

Für den hier betrachteten Zweck einer Potenzialanalyse lassen sich allerdings rechtliche Rahmenbedingungen aus den Bereichen Wasser- und Naturschutzrecht abgrenzen, die dann im Einzelfall weiter konkretisiert werden müssten.

3.2.1. Wasserrechtliche Grundlagen

Grundsätzlich regelt die Wasserbehördenzuständigkeitsverordnung (WaZV), welche Behörde im Einzelfall für die wasserrechtliche Prüfung zuständig ist. Sie besagt, dass bei einer Oberflächenwasserentnahme von mehr als 5.000 m³ (mittlere tägliche Entnahmemenge) die Zuständigkeit von der Unteren (Landeshauptstadt Potsdam) auf die Obere Wasserbehörde (Landesamt für Umwelt Brandenburg) übergeht (§2 Abs. 6 WaZV). Unabhängig von der Zuständigkeit gilt für die EU die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die grundsätzlich ein Verschlechterungsverbot vorsieht und zum Ziel den guten Zustand der Gewässer hat. Deren Vollzug ist u. a. durch das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) bzw. das Brandenburgische Wassergesetz (BbgWG) geregelt. Bei einer Benutzung des Gewässers nach § 9 WHG, zu der auch das Entnehmen und Ableiten von Wasser (§ 9 Abs.1 Nr.1) sowie das Einbringen und Einleiten von Stoffen (§ 9 Abs.1 Nr.4) zählt, ist eine wasserrechtliche Erlaubnis nach § 8 WHG bzw. § 28 BbgWG nötig (WWA-Deg, 2011; Schwinghammer, 2012). Für Anlagen, die sich in einem Gewässer befinden, ist § 36 WHG bzw. § 87 BbgWG anzuwenden.

Die Behörde muss in diesem Fall prüfen, ob eine nachteilige Veränderung der Gewässereigenschaften durch die Errichtung der Anlage zu erwarten ist. Enthält die Anlage zudem als Wärmetauschmedium Flüssigkeiten mit Frostschutzmitteln oder bestimmte Kältemittel, so ist sie für eine gewerbliche oder öffentliche Nutzung gemäß § 62 WHG sowie über die Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) als wassergefährdend einzustufen. In Potsdam gibt es zudem drei große Wasserschutzgebiete nach § 51 und 52 WHG bzw. § 15 BbgWG, in denen bestimmte Handlungen verboten oder nur eingeschränkt zulässig sind. Dies kann auch auf den Bau einer Anlage zur thermischen

Nutzung des Oberflächengewässers zutreffen. Die jeweiligen Verordnungen zu den Wasserschutzgebieten Potsdam-Wildpark, Potsdam-Nedlitz und Potsdam-Leipziger Straße legen die konkreten Verbote in den jeweiligen Schutzzonen fest.

Der Umfang der zu erbringenden Unterlagen für die wasserrechtliche Erlaubnis ist im Brandenburgischen Wassergesetz (BbgWG) wenig konkretisiert (§ 35). In Bayern sind für die Erlaubnis beispielsweise nachfolgend genannte Aspekte zu untersuchen (WWA-Deg, 2011), die, nach Absprache mit der Oberen Wasserbehörde des Landes Brandenburg, in ähnlicher Weise auch in Potsdam näher untersucht werden müssten:

- *Gewässerstruktur* – Die Gewässerstrukturgüte, die z. B. Abflussdynamik, Tiefenvariabilität und Sohlensubstratvielfalt einschließt, darf nicht beeinträchtigt werden.
- *Wasserabfluss* – Der Abfluss des Gewässers darf durch keine Folgewirkungen behindert werden.
- *Bestehende Nutzungen, Unterhaltung und Ausbau* – Bestehende Nutzungen, wie z. B. Schifffahrt sowie Maßnahmen des Gewässerschutzes, wie z. B. Hochwasserschutz, dürfen durch die Größe der Anlage nicht beeinträchtigt werden.
- *Gewässerschutz* – Die Gewässerökologie und -beschaffenheit darf nicht nachteilig verändert werden.
- *Temperaturveränderungen* – Da Temperaturveränderungen im Gewässer das Artenspektrum, die Physiologie und die Reproduktion von Fischen und Makrozoobenthos-Arten beeinflussen können, müssen Maximaltemperatur und Aufwärmspanne gewässerökologisch beurteilt werden. Eine Orientierung könnte hier die Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) geben.
- *Sicherheitseinrichtungen* – Zur Vermeidung von Leckagen sind Schutzvorkehrungen und Sicherheitseinrichtungen einzurichten und mögliche Folgen abzuschätzen.
- *Alternativen* – Es muss im Vorfeld überprüft werden, ob andere Wärmequellen besser geeignet sind.

Eine wasserrechtliche Erlaubnis kann mit verschiedenen Auflagen und der Festlegung von Grenzwerten verbunden sein. Da es für Potsdam diesbezüglich noch keine Untersuchungen gibt, wird anhand von Beispielen anderer Städte ein gewisser Umfang abgeschätzt, der sich voraussichtlich ähnlich auch in Potsdam ergeben könnte (siehe Beispiel Tab. 3-1). Dieser umfasst zum einen die Temperaturspanne des Gewässers, innerhalb welcher noch Wasser entnommen/eingeleitet werden darf. Außerdem wird häufig eine Temperaturdifferenz zwischen Entnahme- und Einleitwasser vorgeschrieben. Für den Bereich, wo das abgekühlte/erwärmte Wasser zurück in das Gewässer geleitet wird, wird ein Grenzwert der Änderung angegeben. Aus ökologischen Gründen werden zudem häufig Filtervorrichtungen für die Ansaugleitungen vorgeschrieben, um Fische und Fischbrut zu schützen.

Tab. 3-1 Auflagen der Stadt Lauterecken (Schwinghammer, 2012)

Kriterium	Auflage
Entnahmetemperatur	< 2 °C unzulässig
Temperaturdifferenz Entnahme / Einleitung	Max. 5 K, in der Regel 3 K
Temperaturabsenkung des Fließgewässers durch Entnahme	Max. 1 K
Fischschutz	Installation Ansaugsieb

Im Kanton Zürich gibt es bereits umfangreiche, quantitative Vorgaben für die thermische Nutzung von Oberflächengewässern (AWEL, o. J.) und die damit verbundene Beantragung einer wasserrechtlichen Konzession und gewässerschutzrechtlichen Bewilligung. Dabei werden standörtliche, technische, ökologische, hydrologische sowie energetische Faktoren berücksichtigt. Zudem gibt es unterschiedliche Vorgaben für Fließ- und Standgewässer. Der nachfolgende Absatz stellt einen Auszug aus der Planungshilfe des Amtes für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL, o. J.) des Kantons Zürich dar, die eine erste Hilfestellung zur Erarbeitung von Zielen für verwaltungsinterne Vorgaben zur Genehmigung leisten kann. Für die Schweiz muss jedoch beachtet werden, dass hier die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), die einen guten Zustand der Oberflächengewässer und des Grundwassers zum Ziel hat, keine Anwendung findet. Die generellen Voraussetzungen für die Nutzung von Seen und Flüssen sind im Kanton Zürich folgende (AWEL, o. J.):

- Anlagenteile müssen außerhalb des öffentlichen Gewässergebietes erstellt werden
- zum Schutz der Fische sind die Wasserfassungen mit einem Seiher zu versehen (Maschenweite höchstens 5 mm, weniger als 10 cm/s angeströmt)
- beim Einsatz von Wärmepumpen oder Kältemaschinen wird ein Zwischenkreislauf verlangt
- Einsatz von Kältemitteln, die gemäß Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung zugelassen sind
- direkte Kühlung nur erlaubt, sofern kein wassergefährdendes Gut gekühlt wird
- die Temperatur des Kühlwassers (Vor- und Rücklauf) ist laufend zu messen und zu registrieren
- die Wassertemperatur des Gewässers darf durch vorgesehene und bestehende Nutzungen nicht um mehr als 3 °C erhöht oder gesenkt werden; bei Gewässerabschnitten der Forellenregion nicht mehr als 1,5 °C
- das Rückspülwasser von Filteranlagen ist in die öffentliche Schmutzwasserkanalisation einzuleiten
- Leitungsenden müssen so gestaltet sein, dass sich das Rückgabewasser rasch mit dem Gewässer vermischt; bei Anlagen über 800 kW Leistung muss die Wirksamkeit der entsprechenden technischen Vorkehrungen bei Leitungsenden durch ein gewässerkundliches Gutachten belegt werden; in einzelnen Fällen können auch bei Anlagen unter 800 kW Gutachten verlangt werden
- Konzession für Kühlbetrieb nur, wenn bei Neubauten der Minergie-Standard eingehalten wird; bei bestehenden Bauten ist das Gebäude aus energetischer Sicht soweit möglich und zumutbar zu optimieren

- bei Kälteanlagen mit Wärmeeintrag muss der Nachweis erbracht werden, dass Abwärme nicht anderswo genutzt werden kann; eine Nutzung der Abwärme durch Dritte muss auch zu einem späteren Zeitpunkt entschädigungslos akzeptiert werden
- Sicherheitseinrichtungen und die Kontrollmöglichkeiten müssen dem Stand der Technik entsprechen

3.2.2. Naturschutzrechtliche Grundlagen

Fachgesetzliche Grundlage sind die rahmengesetzlichen Regelungen im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und die landesrechtliche Umsetzung im Brandenburgischen Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (BbgNatSchAG). Gemäß des vorgeschriebenen Verfahrens in § 17 BNatSchG bzw. § 7 BbgNatSchAG müsste im Rahmen der gesamten Vorhabensplanung im Benehmen mit der zuständigen Naturschutzbehörde zunächst geprüft werden, ob der Bau einer Anlage zur thermischen Nutzung des Oberflächengewässers einen Eingriff in die Natur und Landschaft gemäß § 14 BNatSchG darstellt. Mit der Eingriffsregelung ist der Verursacher in der Pflicht, die durch sein Vorhaben verursachten Beeinträchtigungen möglichst zu vermeiden, ansonsten für Ausgleich und Ersatz zu sorgen (§ 15 BNatSchG). Diese Regelung gilt unabhängig von sonstigen Schutzgebietsausweisungen nach § 22 BNatSchG. Das Verhältnis zum Baurecht wird in § 18 BNatSchG geregelt. Demnach baut die Anwendung der Eingriffsregelung innerhalb der Bauleitplanung auf den Regelungen des Baugesetzbuches auf.

In diesem Verfahren können aus naturschutzrechtlicher Sicht im konkreten Einzelfall neben der Eingriffsregelung weitere Zulassungs- und Verfahrensanforderungen gelten, insbesondere wenn Schutzgebiete nach § 22 BNatSchG (§ 8 BbgNatSchAG) oder geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG (§ 18 BbgNatSchAG) von dem geplanten Vorhaben berührt werden. Entsprechendes gilt ebenfalls für Beeinträchtigungen in NATURA-2000-Gebieten (§§ 31-36 BNatSchG bzw. §§ 14-16 BbgNatSchAG) und bezüglich besonders geschützter Tier- und Pflanzenarten gemäß § 44 BNatSchG.

Innerhalb des Stadtgebietes der Landeshauptstadt Potsdam befinden sich Schutzgebiete des Netzes NATURA-2000 oder Teile davon, zu denen die Gebiete nach Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (92/43/EWG) und Gebiete gemäß Vogelschutzrichtlinie (79/409/EWG) gehören (§ 31-32 BNatSchG). Zu nennen sind hier vor allem die beiden flächenmäßig größten FFH-Gebiete „Sacrower See und Königswald“ (3544-304) im Osten und „Ferbitzer Bruch“ (3544-303) im Norden sowie die Vogelschutzgebiete „Döberitzer Heide“ (3444-401) im Norden und „Mittlere Havelniederung“ (3542-421) im Nordwesten. Eine Prüfung des Vorhabens auf eine mögliche Schädigung der Arten und Lebensräume gemäß der zuvor genannten Richtlinien und ihrer Erhaltungsziele ist nach § 34 BNatSchG (FFH-Verträglichkeitsprüfung) durchzuführen (dazu auch § 16 BbgNatSchAG).

Schutzgebiete gemäß § 22-30 BNatSchG bzw. § 8 BbgNatSchAG sind Nationalparks, Naturschutzgebiete, Landschaftsschutzgebiete, Naturdenkmäler, geschützte Landschaftsbestandteile, Biosphärenreservate und Naturparks, die entweder rechtsverbindlich festgesetzt oder durch Gesetz oder öffentliche Bekanntmachung als solche erklärt werden. Mit Ausnahme von Nationalparks, Biosphärenreservaten und Naturparks existieren im Potsdamer Stadtgebiet alle genannten Schutzgebietsausweisungen. Besonders große Flächen (ca. 50 %

des Stadtgebietes) sind als Landschaftsschutzgebiete (LSG) nach § 26 BNatSchG ausgewiesen. Hervorzuheben sind die LSG „Königswald mit Havelseen und Seeburger Agrarlandschaft“ (3544-601) im Nordosten sowie das „Potsdamer Wald- und Havelseengebiet“ (3643-601) im Südwesten. Die vorzufindenden Naturschutzgebiete (NSG) nach § 23 BNatSchG decken sich in ihrer Lage im überwiegenden Teil mit den FFH-Gebieten. Die gleichnamigen größten NSG sind „Sacrower See und Königswald“ (3544-501) und „Ferbitzer Bruch“ (3544-302). Die jeweiligen Verordnungen zu LSG und NSG legen den Schutzzweck fest und welche Handlungen verboten, genehmigungspflichtig oder zulässig sind. In Potsdam sind über 50 Naturdenkmale nach § 28 BNatSchG geschützt, darunter befinden sich vorwiegend Gehölze, aber auch Findlinge. Als geschützte Landschaftsbestandteile nach § 29 BNatSchG (§ 17 BbgNatSchAG) werden die gemäß Baumschutzverordnung (PbaumSchVO) geschützten Bäume festgesetzt. Die Verordnung befindet sich derzeit (Stand März 2017) in der Überarbeitung, ihre Neufassung soll aber demnächst beschlossen werden.

Bei der Errichtung von baulichen Anlagen sind ebenfalls die Belange des gesetzlichen Biotopschutzes nach § 30 BNatSchG (§ 18 BbgNatSchAG) und des besonderen Artenschutzes nach § 44 BNatSchG zu berücksichtigen. Demnach sind Handlungen, die geschützte Biotope zerstören oder erheblich beeinträchtigen können, nicht zulässig. Für (wildlebende) Tiere und Pflanzen besonders geschützter Arten gelten Zugriffs-, Besitz- und/oder Vermarktungsverbote.

3.2.3. Sonstige Rechtsgrundlagen

In Potsdam sind seit 1998 Fernwärmevorranggebiete festgelegt worden, um eine hohe Auslastung des erdgasbefeuerten Heizkraftwerkes Potsdam Süd zu gewährleisten, das 1995 von der Energie und Wasser Potsdam (EWP) und der Landeshauptstadt errichtet wurde und einen Primärenergiefaktor von 0,17 erreicht (TÜV Nord, 2016). Im Einzelnen bedeutet das für die von der Fernwärme erschlossenen Stadtgebiete, dass sie bezüglich der Wärmeversorgung einem Anschluss- und Benutzungszwang unterliegen (§4 Fernwärmesatzung). Dies gilt demnach auch für den Neubau von Gebäuden (§4 (5) Fernwärmesatzung). Jedoch besteht hinsichtlich der Nutzung von erneuerbaren Energien eine Ausnahme nach § 8 (2) EniSchG: „Sofern in den Gebäuden der Wärmebedarf überwiegend mit regenerativen Energien gedeckt wird, besteht kein Anschluss- und Benutzungszwang.“

Konkret bedeutet dies, dass sich Fernwärmevorranggebiete und die thermische Nutzung von Flusswasser als Heiz- bzw. Kühllösung nicht ausschließen, sofern dadurch für das Gebäude der überwiegende Heiz-/Kühlbedarf gedeckt ist.

3.3. Potenzialabschätzung Flusswasserentnahme

3.3.1. Allgemeines und Herangehensweise

Flusswasserentnahme kann zu Heiz- aber auch zu Kühlzwecken erfolgen. Der Fluss dient dabei als Wärmequelle bzw. Wärmesenke. Die jeweilige Potenzialabschätzung erfolgt in zwei Schritten. So wird in einem ersten Schritt jeweils das Gesamtpotenzial der Wärmequelle bzw. -senke ermittelt. In einem zweiten Schritt erfolgt die Betrachtung des möglichen Umfangs der technischen Nutzung. Das Gesamtpotenzial der Wärmequelle bzw. -senke hängt dabei von zwei Faktoren ab:

- vom Gesamtdurchfluss
- von der maximal erlaubten Temperaturänderung des Gewässers

Der mögliche Umfang der technischen Nutzung hängt ab:

- vom entnehmbaren Volumenstrom und
- der Höhe der möglichen Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms.

Um den Durchfluss zu bewerten, werden statistische Werte des Durchflusses des Abschnittes Potsdam-Phöben sowie Durchflussganglinien der Havelmessstellen verwendet. Um den Temperaturverlauf der Potsdamer Havel zu bewerten, wird die Ganglinie der Wassertemperatur des Messstandortes Tiefer See Potsdam verwendet.

Anlagen zur Entnahme von Flusswasser können technisch unterschiedlich ausgeführt sein. Für die Ermittlung des technisch nutzbaren Potenzials wurde von einem offenen System ohne Zwischenkreis ausgegangen.

Exkurs: Offenes oder geschlossenes System

Bei einem offenen System wird das Flusswasser direkt genutzt und durch die Wärmepumpe geführt. Bei einem geschlossenen System zirkuliert in einem Zwischenkreis eine Sole, die über einen Wärmetauscher dem Flusswasser die Wärme entzieht.

3.3.2. Rahmenbedingungen

In Deutschland bzw. in Brandenburg existiert derzeit keine genaue Regelung bezüglich einer Flusswasserentnahme zu Heiz- oder Kühlzwecken. Dementsprechend existieren keine festgelegten Grenz- und Richtwerte einer Flusswasserentnahme. Für die folgende Potenzialabschätzung wird daher zunächst von den Bedingungen in Tab. 3-2 ausgegangen, die sich an den Beispielkennwerten aus Kapitel 3.2.1. orientieren.

Die Daten der Wasser- und Lufttemperatur zwischen 2009 und 2016 wurden auf täglicher Basis vom Landesamt für Umwelt (Abt. Wasserwirtschaft 1, Referat W 14 Oberflächen-gewässergüte) zur Verfügung gestellt (siehe Abb. 3-1). Sie stammen von der Messstation an der Humboldtbrücke, die sich am Tieferen See in Potsdam befindet. Die mittlere Höhe des Entnahmepunktes liegt 1,50 m unter der Wasseroberfläche (Quelle: Informationsplattform Undine).

Tab. 3-2 Rahmenbedingungen der Potentialabschätzung

Kriterium	Wert
Maximale Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms	5 K
Minimale Entnahmetemperatur	2 °C
Maximale Entnahmetemperatur	24 °C
Minimale Mischwassertemperatur des Gesamtgewässers	1 °C
Maximale Mischwassertemperatur des Gesamtgewässers	25 °C
Maximale Temperaturänderung des Gesamtgewässers	1 K

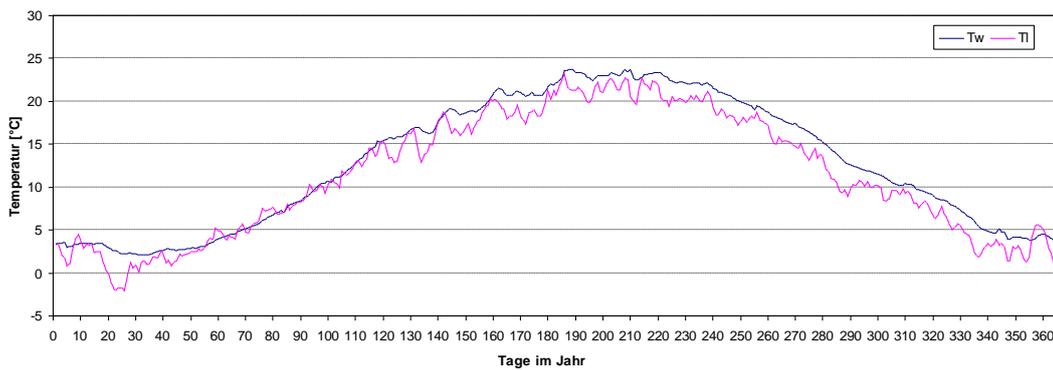


Abb. 3-1 Ganglinien der Wasser- (Tw) und Lufttemperatur (Tl) am Messstandort Tiefen See in Potsdam.

3.3.3. Abschätzung Gesamtpotenzial der Wärmequelle

Das Gesamtpotenzial der Wärmequelle wird begrenzt durch eine festgelegte maximale Temperaturänderung des Gesamtgewässers von 1 K. Ein anderer Grenzwert würde zu einem entsprechend höheren bzw. niedrigeren Potenzial führen (lineare Abhängigkeit).

Um das Potenzial zu beschreiben, werden die maximale Entzugsleistung und die durchschnittliche jährliche Entzugsarbeit ermittelt.

Für die Ermittlung der maximalen Entzugsleistung wird der mittlere Spitzendurchfluss MHQ des Havelabschnittes Potsdam-Phöben verwendet, für die Ermittlung der durchschnittlichen jährlichen Entzugsarbeit der mittlere Durchfluss MQ (siehe Kapitel 3.3.4.). Beide Werte werden jeweils mit der maximal erlaubten Auskühlung des Gesamtgewässers von 1 K multipliziert. Das Ergebnis zeigt Tab. 3-3.

Die maximal erlaubte Auskühlung des Gesamtgewässers ist über das gesamte Jahr konstant (1 K). Der jährliche Verlauf der Entzugsleistung der Wärmequelle hängt somit vom Verlauf der Durchflussrate ab. Die maximale Entzugsleistung der Wärmequelle tritt zum Zeitpunkt des maximalen Durchflusses auf.

Tab. 3-3 Abschätzung maximale Entzugsleistung und -arbeit der Wärmequelle

Durchfluss	Temperaturveränderung Gesamtgewässer	Maximale Entzugsleistung Wärmequelle	Durchschn. Entzugsarbeit Wärmequelle
45 m³/s (MHQ)	1 K	188 MW	-
18 m³/s (MQ)	1 K	-	660.000 MWh/a

3.3.4. Abschätzung technisch nutzbares Wärmepotenzial

Analyse Entnahmetemperatur

Bei der Entnahme von Flusswasser bei niedrigen Temperaturen muss Frostfreiheit gewährleistet werden. Um eine Mindestauskühlung des entnommenen Volumenstroms von 1 K erreichen zu können, muss die Entnahmetemperatur entsprechend mindestens 2 °C betragen. Die minimale Mischwassertemperatur des Gesamtgewässers von 1 °C kann so ebenfalls eingehalten werden. Wie Abb. 3-2 zeigt, herrschen während der gesamten Heizperiode Temperaturen von mindestens 2 °C. Eine Entnahme zu Heizzwecken während der gesamten Heizperiode wäre somit grundlegend möglich.

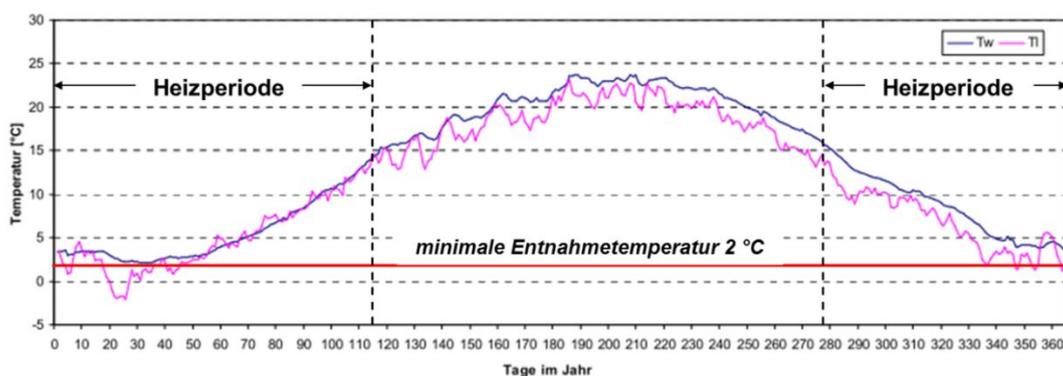


Abb. 3-2 Überprüfung minimale Entnahmetemperatur 2 °C

Um die maximale Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms von 5 K realisieren zu können, muss die Entnahmetemperatur entsprechend mindestens 6 °C betragen. Wie Abb. 3-3 zeigt, liegt während etwa der Hälfte der Heizperiode die Temperatur unter 6 °C. Während dieser Zeitspanne ist das Wärmepotenzial entsprechend begrenzt. Die in diesem Zeitraum durchschnittlich erreichbare Auskühlung wird mit 2,5 K abgeschätzt.

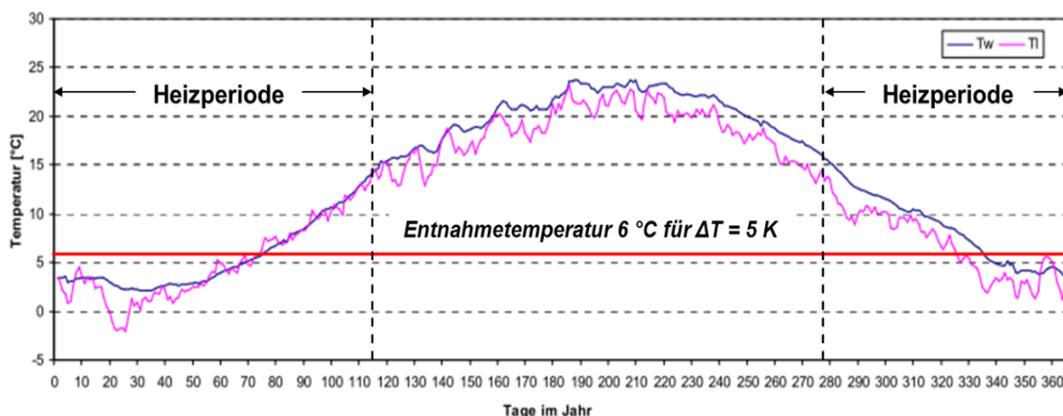


Abb. 3-3 Überprüfung Entnahmetemperatur 6 °C

Außerhalb der Heizperiode herrschen in der Potsdamer Havel Temperaturen zwischen etwa 15 °C und 24 °C vor (siehe Abb. 3-4). Während dieser Zeit kann somit stets die maximale Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms von 5 K realisiert werden.

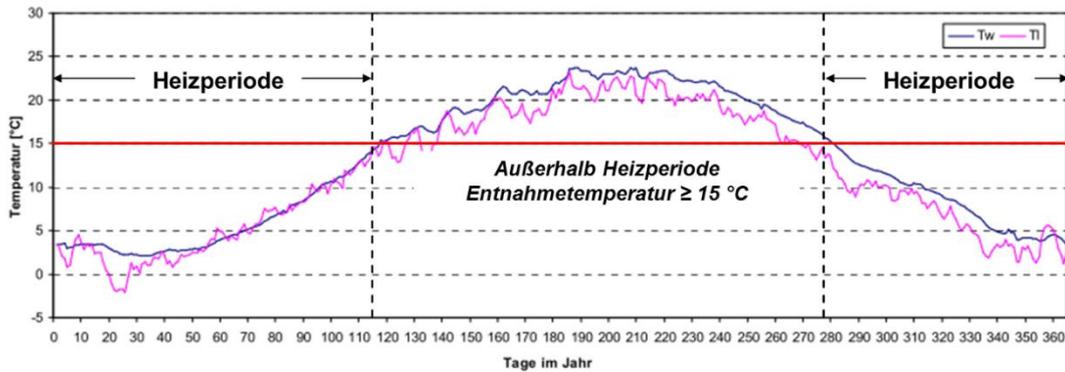


Abb. 3-4 Analyse Entnahmetemperatur außerhalb der Heizperiode

Analyse Durchflussrate

Der Arge liegen statistische Werte der Durchflussraten NQ, MNQ, MQ, MHQ und HQ für den Abschnitt Potsdam-Phöben vor (siehe Tab. 3-4). Informationen zum jährlichen Verlauf der Durchflussrate der Potsdamer Havel liegen der Arge nicht vor. Zur Analyse des jährlichen Verlaufs werden Daten anderer Durchflussmessstellen der Havel verwendet (siehe Tab. 3-5).

Tab. 3-4 Durchflussraten des Havelabschnitts Potsdam-Phöben, Hauptwerte 2005-2014 (statistische Werte)

Abflusskenngröße	Kurzform	Volumenstrom in m ³ /s
Niedrigster Abfluss	NQ	0,3
Mittlerer Niedrigwasserabfluss	MNQ	1,2
Mittlerer Abfluss	MQ	18,0
Mittlerer Hochwasserabfluss	MHQ	45,0
Höchster Abfluss	HQ	65,0

Es bleibt festzuhalten, dass die Havel ein staugeregeltes Gewässer ist. Die Durchflussrate ist somit nicht vollständig saisonabhängig. Das Havelsystem ist zudem weit verzweigt. Der Verlauf der Durchflussganglinie eines Havelabschnittes ist somit nur bedingt auf andere Havelabschnitte übertragbar.

In Abb. 3-5 sind die Durchflussganglinien mehrerer Havelmessstellen für den Zeitraum 01.01.2014 bis 09.04.2015 dargestellt. Für diesen Zeitraum kann festgestellt werden, dass alle Ganglinien im gesamten Zeitraum demselben Trend folgen. Für die Potenzialabschätzung wird daher davon ausgegangen, dass dieser Trend mit hinreichender Genauigkeit auch für den Abschnitt Potsdamer Havel zutrifft. Anhand der Durchflussganglinie der Messstelle Havelberg (grün) kann folgendes festgestellt werden:

Während der Heizperiode:

- Oktober bis November/Dezember: größtenteils Durchflussraten unterhalb MQ
- Januar bis April: größtenteils Durchflussraten oberhalb MQ
- Spitzendurchfluss im Januar/Februar

Außerhalb der Heizperiode:

- Durchflussraten unterhalb MQ

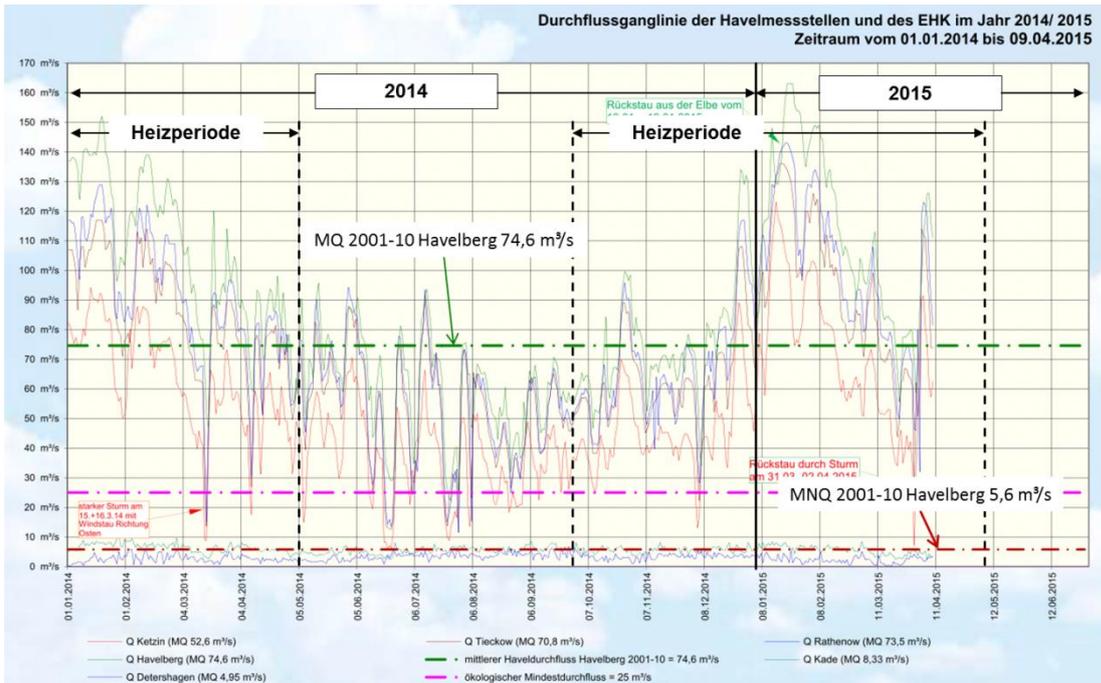


Abb. 3-5 Durchflussganglinien der Havelmessstellen und des EHK 2014/2015

Bestimmung des technisch nutzbaren Potenzials

Das technisch nutzbare Potenzial hängt ab:

- vom entnehmbaren Volumenstrom und
- der Höhe der möglichen Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms.

Abhängig vom Anteil des entnommenen Volumenstroms am Gesamtdurchfluss und der Auskühlung des entnommenen Volumenstroms ergeben sich unterschiedliche Auskühlungen des Gesamtgewässers. Wie Abb. 3-6 zeigt, ist bei Auskühlung des entnommenen Volumenstroms um mehr als 1 K der Anteil des entnommenen Volumenstroms am Gesamtdurchfluss entsprechend begrenzt. So können bei einer Auskühlung des entnommenen Volumenstroms um 2 K bis zu 50 % des Gesamtdurchflusses entnommen werden, bei 5 K nur bis zu 20 %, ohne dass das Gesamtgewässer um mehr als 1 K ausgekühlt wird.

Temperaturspreizung im WP-Kreislauf [K]	maximale Veränderung der Mischwassertemperatur [K]	Temperaturspreizung [K] Wasser vor Benutzung / Mischwasser bei einer Wasserentnahme von:								
		1%	2%	5%	10%	20%	30%	40%	50%	
1	1	0,01	0,02	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	
2	1	0,02	0,04	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	
3	1	0,03	0,06	0,15	0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	
4	1	0,04	0,08	0,20	0,40	0,80	1,20	1,60	2,00	
5	1	0,05	0,10	0,25	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	

Abb. 3-6 Mischwassertemperaturwerte in Abhängigkeit von der Entnahmerate (Schwinghammer, 2012)

Um das Potenzial einer konkreten Entnahmestelle bestimmen zu können, werden die Entnahmeraten 5 % und 10 % betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass bei diesen Entnahmeraten unerwünschte Auswirkungen auf das Gewässer vermieden werden können. Wie Tab. 3-6 zeigt, kann bei beiden Entnahmeraten eine Auskühlung des entnommenen Volumenstroms von 5 K ausgeschöpft werden, ohne das Gesamtgewässer um mehr als 1 K auszukühlen. Um das Potenzial zu quantifizieren, wurden die Ergebnisse der Analyse des Temperaturverlaufs (siehe Abb. 3-3) sowie der Durchflussganglinien (siehe Abb. 3-5) zusammengeführt. Es wurden zwei Bereiche definiert, in denen sich die mögliche Auskühlung des entnommenen Volumenstroms unterscheidet: Im Bereich 1 wird mit einer durchschnittlich erreichbaren Auskühlung von 2,5 K gerechnet, im Bereich 2 mit der maximalen Auskühlung von 5 K (siehe Abb. 3-7).

Anhand der Durchflussganglinie Havelberg wurde für den Bereich 1 ein mittlerer Durchfluss von 1,5 MQ sowie für den Bereich 2 ein mittlerer Durchfluss von 0,8 MQ optisch geschätzt. Der Anteil an einem Jahr beträgt für den Bereich 1 2.520 h/a und für den Bereich 2 6.240 h/a. Auf Basis dieser Werte wurde anschließend für die beiden Entnahmeraten jeweils die jährliche Entzugsarbeit ermittelt (siehe Tab. 3-5 und Tab. 3-6). Als Ergebnis für die Entnahmerate von 5 % ergibt sich eine jährliche Entzugsarbeit von rund 130.000 MWh/a, für die Entnahmerate von 10 % eine entsprechend doppelt so hohe Entzugsarbeit von rund 260.000 MWh/a. Dies entspricht 20 % bzw. 40 % der maximal möglichen Entzugsarbeit der Wärmequelle.

Diese Ergebnisse gelten jeweils für eine Entnahmestelle. Gemäß der Übersicht in Abb. 3-6 könnten insgesamt vier Entnahmestellen mit je 5 % Entnahmerate realisiert werden, ohne das Gesamtgewässer um mehr als 1 K auszukühlen. Bei einer Entnahmerate von 10 % könnten entsprechend zwei Entnahmestellen realisiert werden. Auf diese Weise können bis zu 80 % des Gesamtpotenzials der Entzugsarbeit technisch nutzbar gemacht werden.

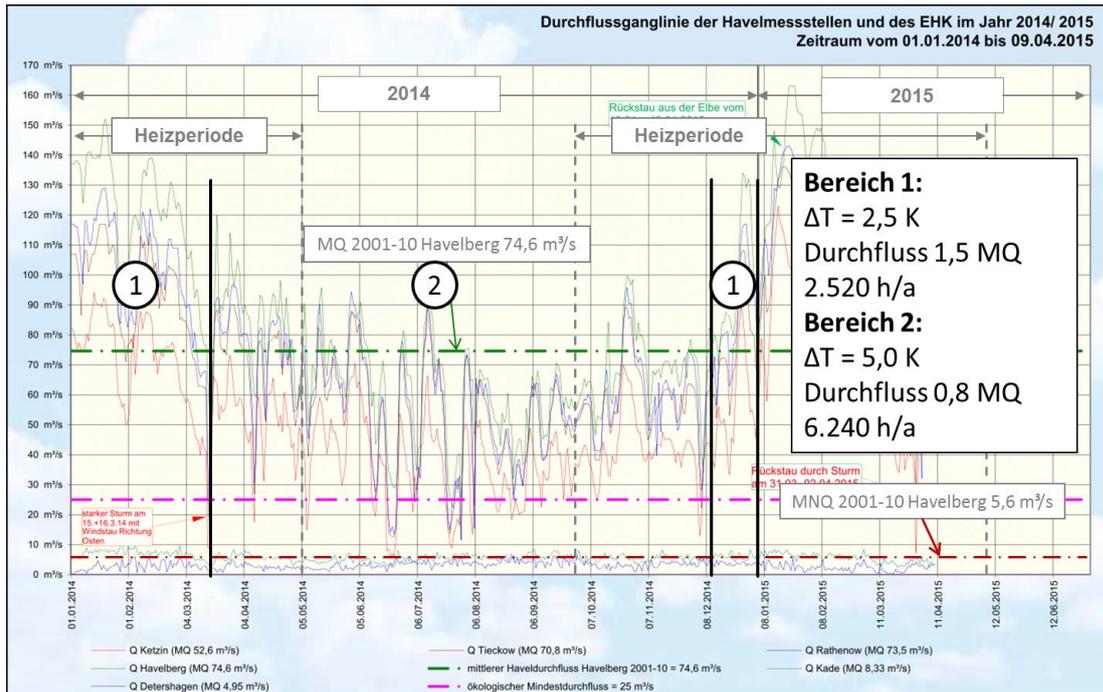


Abb. 3-7 Unterteilung der Durchflussganglinie in Abschnitte unterschiedlicher Durchflussraten

Tab. 3-5 Ermittlung jährliche Entzugsarbeit bei Entnahmerate 5 %

Durchfluss gesamt	Entnahme	Durchschn. Auskühlung	Zeitraum	Entzugsarbeit	Durchschn. Entzugsleistung
27,0 m ³ /s	1,35 m ³ /s	2,5 K	2.520 h/a	36.000 MWh/a	14,1 MW
14,4 m ³ /s	0,72 m ³ /s	5,0 K	6.240 h/a	94.000 MWh/a	15,1 MW
			Summe	130.000 MWh/a	

Tab. 3-6 Ermittlung jährliche Entzugsarbeit bei Entnahmerate 10 %

Durchfluss gesamt	Entnahme	Durchschn. Auskühlung	Zeitraum	Entzugsarbeit	Durchschn. Entzugsleistung
27,0 m ³ /s	2,7 m ³ /s	2,5 K	2.520 h/a	71.000 MWh/a	28,3 MW
14,4 m ³ /s	1,44 m ³ /s	5,0 K	6.240 h/a	189.000 MWh/a	30,1 MW
			Summe	260.000 MWh/a	

3.3.5. Abschätzung Gesamtpotenzial Wärmesenke

Die Kühlung mit Hilfe von Flusswasser kann sowohl aktiv als auch passiv erfolgen. Bei aktiver Kühlung erfolgt die Kühlung auf ein Temperaturniveau unterhalb dem des Flusswassers mit Hilfe von Wärmepumpen. Das Flusswasser dient dabei zur Kühlung des Kondensators der Wärmepumpe. Bei passiver Kühlung erfolgt die Kühlung auf dem Temperaturniveau des Flusswassers mit Hilfe von Wärmetauschern.

Um bei aktiver Kühlung eine Mindestenergieerzeugung des entnommenen Volumenstroms von 1 K erreichen zu können, darf die Entnahmetemperatur entsprechend maximal 24 °C betragen, um die maximale Mischwassertemperatur des Gesamtgewässers von 25 °C nicht

zu überschreiten. Wie in Abb. 3-8 gezeigt, liegt die Entnahmetemperatur während der gesamten Kühlperiode (Juli/August) unter 24 °C. Flusswasserentnahme für aktive Kühlung ist somit grundlegend möglich.

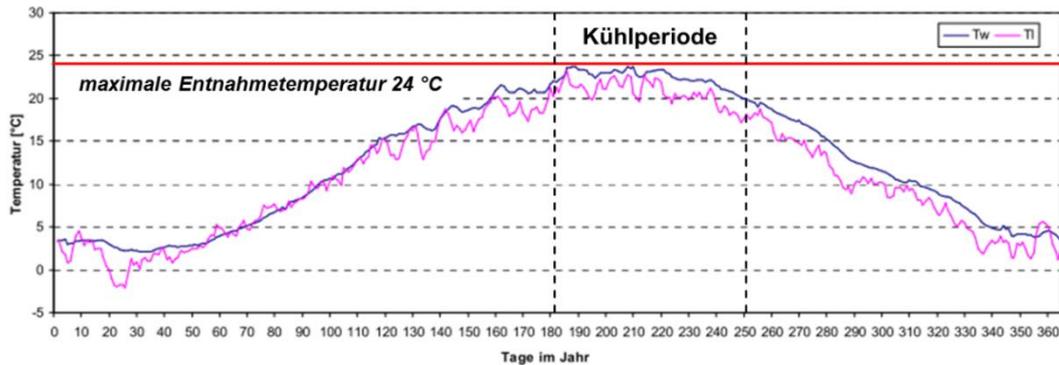


Abb. 3-8 Überprüfung maximale Entnahmetemperatur 24 °C

Um die maximale Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms von 5 K realisieren zu können, darf die Entnahmetemperatur entsprechend maximal 20 °C betragen. Wie Abb. 3-9 zeigt, liegt die Entnahmetemperatur während der gesamten Kühlperiode höher. Das bedeutet, dass während der gesamten Kühlperiode die Temperaturänderung des entnommenen Volumenstroms auf unter 5 K und somit auch die Kühlleistung entsprechend limitiert sind.

Während der Kühlperiode herrschen zudem unterdurchschnittliche Durchflussraten vor (siehe Abb. 3-5), was die mögliche Kühlleistung weiter begrenzt. Es wird daher ein eher geringes Potenzial für aktive Kühlung vermutet. Das aktive Kühlpotenzial wurde nicht genauer quantifiziert. Für die passive Kühlung mit Hilfe von Flusswasser darf die Entnahmetemperatur bei höchstens 18 °C liegen, um noch einen entsprechenden Kühleffekt erzielen zu können. Wie beschrieben, herrschen in der gesamten Kühlperiode Entnahmetemperaturen von mindestens 20 °C vor. Es ist somit kein Potenzial für passive Kühlung mit Hilfe von Flusswasser vorhanden.

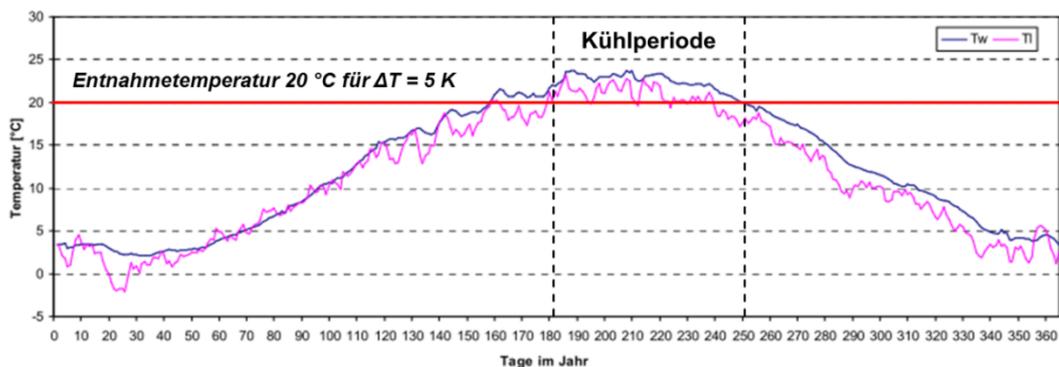


Abb. 3-9 Überprüfung Entnahmetemperatur 20 °C

3.3.6. Geeignete Gebiete für die thermische Nutzung von Flusswasser in Potsdam

Ausgangsbedingungen und kartografische Darstellung

Anhand der in Kapitel 0 errechneten Potenziale und der technischen, rechtlichen sowie räumlichen Gegebenheiten aus Kapitel 3.1. und Kapitel 3.2. werden die für die thermische Nutzung von Flusswasser geeigneten Gebiete in Potsdam ausgewiesen.

Nach Abstimmung mit den Fachleuten des Landesumweltamtes ist festzuhalten, dass der Kühlfall problematischer angesehen wird als der Heizfall, d. h. eine potenzielle Abkühlung des Gewässer ist einer Erwärmung aus gewässerökologischen Gründen in jedem Fall vorzuziehen. Dies sollte bei einer konkreten Planung frühzeitig berücksichtigt werden. Daher beziehen sich die hier als potenziell geeignet ausgewiesenen Gebiete nur auf den Heizfall. Es wurde zudem angemerkt, dass es besser wäre, mehrere (volumenmäßig) kleine Einleitstellen anzulegen als wenige große, was hier ebenfalls Berücksichtigung finden soll. Einen weiteren wichtigen Punkt stellt die Sicherung der Anlagen vor Diebstählen und Zerstörung dar. Daher wäre es ratsam, mögliche Anlagen auf abgeschlossenen Grundstücken bzw. in nicht öffentlich zugänglichen Wasserbereichen zu errichten. Grundlage bildet hier die kartographische Darstellung in Abb. 3-10.

Zur Analyse der Eignung wurde ein Suchraum, der beidseitig der zu der Potsdamer Havel gehörenden Flusseen (Teile der Berliner Unterhavel, Jungfernsee, Tiefer See, Templiner See, Teile des Zernsees, Teile der Wublitz und Schlänitzsee) in einem 500 m breiten Korridor verläuft, geöffnet. Dieser Abstand begrenzt die maximale Rohrleitungslänge, bis zu der der Transport des Flusswassers in einem offenen System i. d. R. noch wirtschaftlich durchgeführt werden kann.

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass eine Nutzung der Wärmeenergie aus der Havel in Gebäuden im kommunalen Eigentum einfacher umsetzbar ist, da sie sich im Einflussbereich der Landeshauptstadt befinden. Diese (Bestands-) Gebäude, in denen im Rahmen einer Sanierung eine Umstellung auf erneuerbare Energien erreicht werden kann, sind farblich gekennzeichnet. Außerdem muss davon ausgegangen werden, dass eine Nutzung von erneuerbaren Energien zur überwiegenden Deckung des Wärmebedarfs hauptsächlich in Neubauten integriert wird, z. B. über Niedertemperaturheizungen. Die gesicherten und langfristigen Planungen aus dem Gestaltplan Potsdams sind aus diesem Grund ebenfalls in der Karte dargestellt. Eine Information über mögliche Eigentümer ist hierfür nicht vorhanden. Aus diesem Grund wird die Annahme getroffen, dass für alle Neubauten im Suchraum eine potenzielle Nutzung von Wärme aus der Havel möglich ist. Die räumlichen Daten der Neubaupotenziale aus dem STEK Wohnen liegen nur in gedruckter Form vor und können deshalb in der Karte nicht dargestellt werden. Welche Bereiche hier betroffen sind, ist in Kapitel 3.1. formuliert. Verbal werden sie jedoch trotzdem Berücksichtigung finden. Sie decken sich im Innenstadtbereich zu großen Teilen mit denen aus dem Gestaltplan.

Darüber hinaus sind möglicherweise räumlich limitierende Faktoren wie Wasserschutzgebiete sowie die in Kapitel 3.2.2. angesprochenen Schutzgebiete dargestellt. Ein Anlagenbau innerhalb dieser naturschutz- und wasserrechtlich geschützten Gebiete schließt sich

nicht grundsätzlich aus, jedoch ist je nach Einzelfall mit einem erhöhten Untersuchungsumfang im Vorfeld und größeren Genehmigungshürden zu rechnen.

Je nach Anlagengröße könnten den Analysen aus Kapitel 3.3.4. zufolge entweder 4 Entnahmestellen mit geringerer oder 2 Entnahmestellen mit höherer Entnahmerate realisiert werden, ohne dass die Flusswassertemperatur um mehr als 1 K abnimmt.

Analyse

Als geeignete Gebäude werden in dieser Potenzialstudie nur diejenigen innerhalb des Suchraums in Betracht gezogen, die nicht innerhalb von Schutzgebieten (vor allem FFH-Gebiete, SPA, NSG, LSG, WSG) liegen, als Eigentümer die Kommune haben oder Neubauten gemäß des Gestaltplans Potsdam und der Neubaupotenziale aus dem STEK Wohnen sind.

Nach Ausschluss aller limitierenden Faktoren zeigt sich, dass der größte Teil des Suchraums und auch der dort gelegenen Gebäude unberührt bleibt. Es verbleiben ca. 900 kommunale Gebäude und ca. 190 geplante Gebäude laut Gestaltplan, die aufgrund der hier festgelegten Restriktionen potenziell geeignet wären (siehe Karten in Abb. 3-11 und Abb. 3-12). Auch die geplanten Neubauten aus dem STEK Wohnen im Innenstadtbereich und im Umfeld des Hauptbahnhofs sind grundsätzlich geeignete Standorte.

Die sich daraus ergebenden potenziell nutzbaren Gewässer der Potsdamer Havel sind im Bereich der Innenstadt der Tiefe See, der Templiner See und der Jungfernsee und in den nördlichen Ortsteilen der Schlänitzsee.

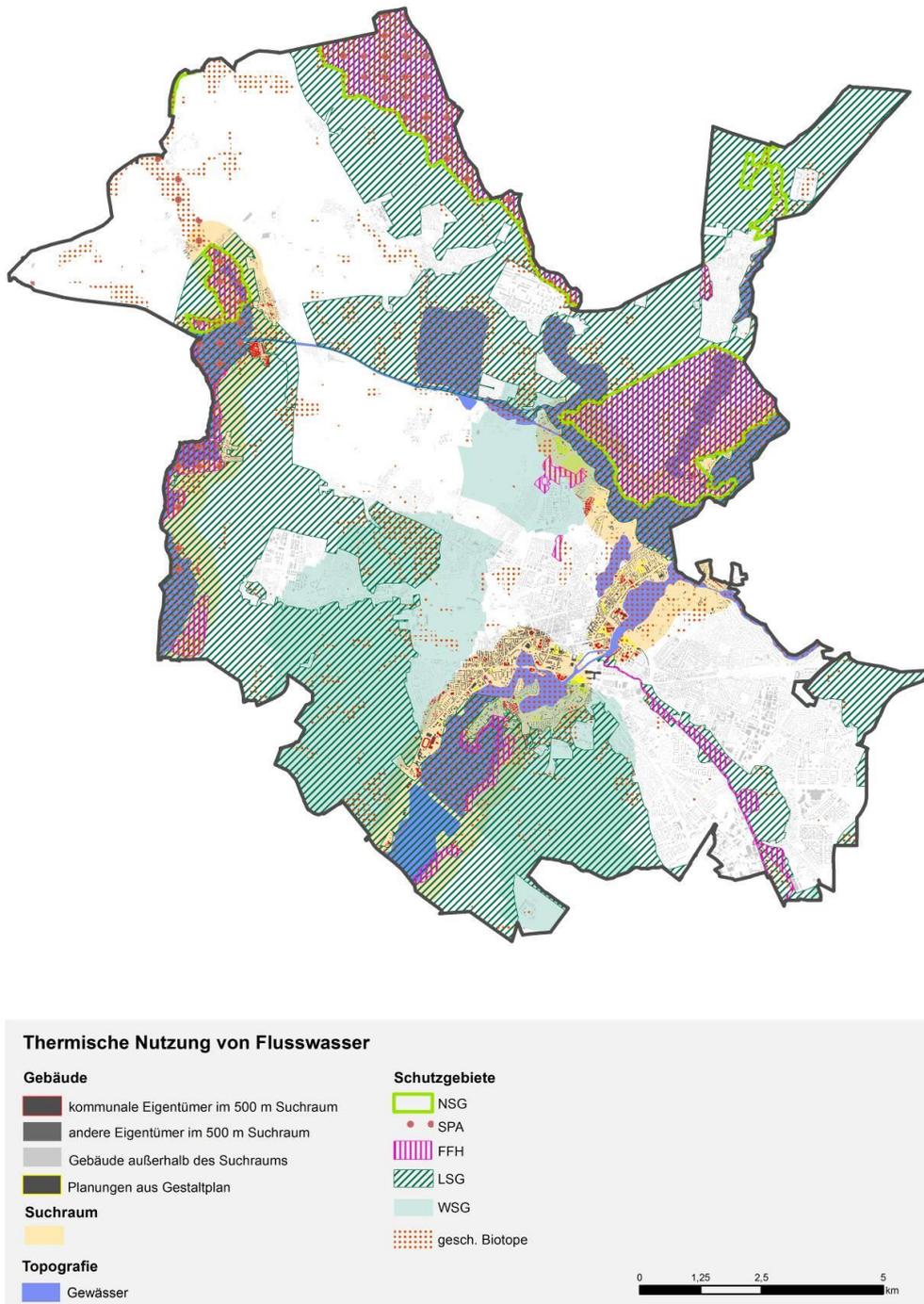


Abb. 3-10 Übersichtskarte zu Analyse der geeigneten Gebiete für die thermische Nutzung von Oberflächengewässern und deren Randbedingungen wie Schutzgebiete, Neubauplanungen und festgelegter Suchkorridor.

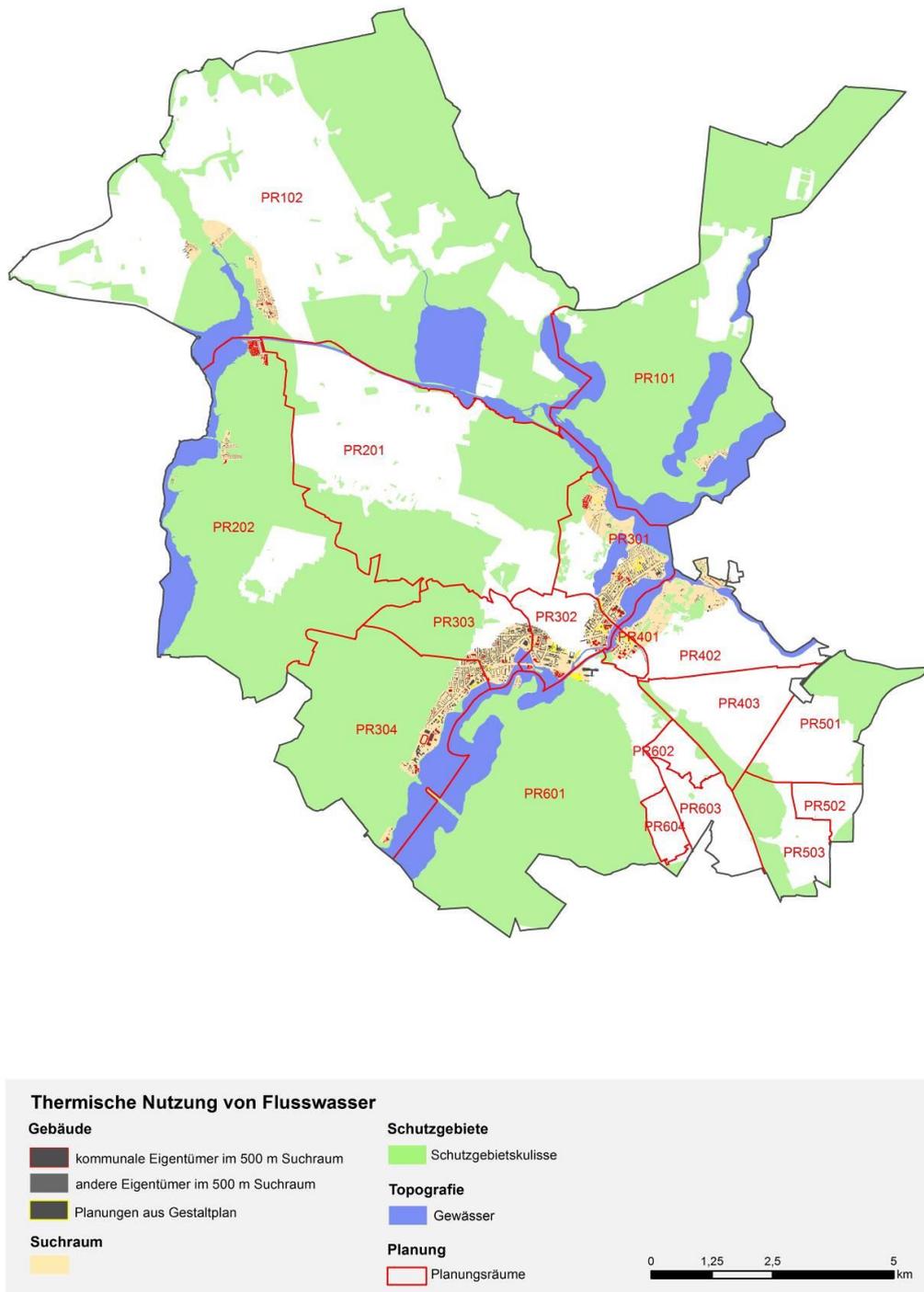


Abb. 3-11 Verbleibende potenziell geeignete Gebiete im Suchraum und Planungsräume von Potsdam

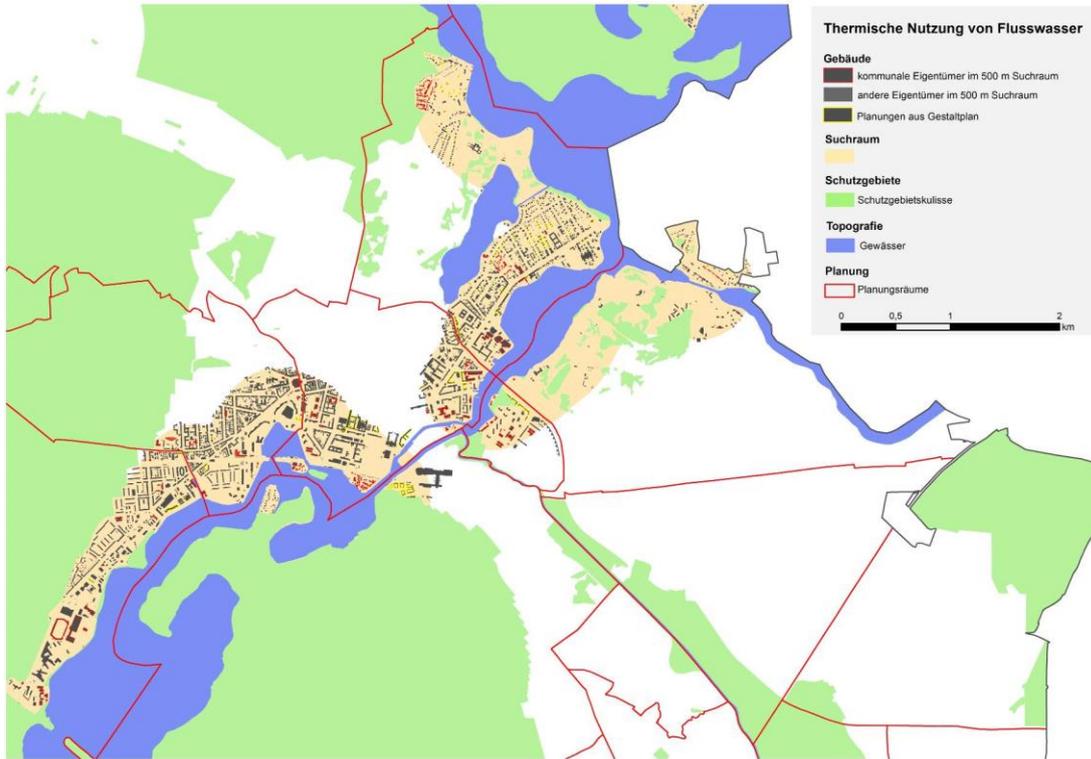


Abb. 3-12 Ausschnitt der Innenstadt von Potsdam (aus Abb. 3-11)

3.4. Praxisbeispiele

Neubau Stadthalle Singen (Baden-Württemberg):

- Zeitraum: seit 2007
- Wasser aus der Aach zum Kühlen und Heizen
- Abfluss Aach: 1000 l/sec
- Wassertemperaturspanne Aach: 7 °C - 19 °C
- System: offen, bivalent
- bei extrem geringen Temperaturen Zuschaltung von Fernwärme
- Kostenersparnis: 40.000 €/a
- CO₂- Emission: 97 t/a
- CO₂-Ersparnis (gegenüber Gasheizsystem, Modellrechnung): 20 %

Tab. 3-7 Technische Daten und Sollwerte der Wärmepumpe in Singen (Quelle: Söder, o. J.)

Technische Parameter	
Modell	DAIKIN
Typ	EWWD 650 DJYNN/A, 2 Kreise, Monoschraubenverdichter
Kälteleistung	650 kW
Heizleistung	660 kW
Leistungszahl Kälte (EER)	5,0
Leistungszahl Wärme (COP)	3,8
Schallpegel (in 1m Entfernung)	48,2 dBA
Abmessungen	1880 x 4305 x 860 (H x B x T)
Sollwerte	
Heizen	Vorlauf max +50°C / Rücklauf +32 °C
Kühlen	Vorlauf +8°C / Rücklauf +14 °C
Kühlen bei Wärmepumpenbetrieb	Vorlauf min +4°C / Rücklauf +8 °C

Nahwärmenetz für öffentliche Gebäude Stadt Lauterecken (Rheinland-Pfalz):

- Zeitraum: seit 2011
- Wasser aus der Lauter zum Heizen
- Wassertemperatur Lauter: ca. 10 °C (auch im Sommer)
- Entnahme: 12,5 l/sec
- System: offen, bivalent
- Kältemittel: CO₂
- bei extrem geringen Temperaturen und Spitzenlasten Zuschaltung von Gasbrennwertkesseln
- 77 % der benötigten Heizwärme werden erzeugt
- CO₂-Ersparnis: 53 t/a

Tab. 3-8 Technische Daten und Sollwerte der Wärmepumpe in Lauterecken (Quelle: Schwinghammer, 2012; Dürr, 2011)

Technische Parameter	
Modell	thermeco2
Typ	HHR 260
Heizleistung	Hochtemperatur: 232 kW
Niedertemperatur: 170 kW	
elektrische Leistungsaufnahme	62 kW
Jahresarbeitszahl	3,7
Jahresheizarbeit	520 MWh
Sollwerte	
Heizen	Hochtemperatur: Vorlauf +65 °C / Rücklauf +30 °C Niedertemperatur: Vorlauf +10 °C / Rücklauf +7 °C

3.5. Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Beispielanlage

Für die in Tab. 3-5 angegebene durchschnittliche Entzugsleistung von 14 MW wird für den Standort Potsdam eine überschlägige Wirtschaftlichkeitsberechnung für eine Flusswasser-Wärmepumpen-Anlage durchgeführt. Wärmepumpen in dieser Leistungsklasse lassen sich nach ausgiebiger Recherche derzeit nur über Kaskaden aus mehreren Wärmepumpen realisieren. Weitere Details zu Anlagenkonfiguration, erzeugter Wärme und spezifischen Kosten finden sich in der Tab. 3-9.

Tab. 3-9 Details der Beispielanlage

Anlagendetails	Wert	Einheit
Wärmeleistung	14.000	kW
Vollbenutzungsstunden	4.000	VBH/a
COP	3,50	f
Nutzungsgrad	0,90	f
Wärmemenge Output	56.000.000	kWh/a
Wärmemenge Input	40.000.000	kWh/a
Strombedarf	16.000.000	kWh/a
Spezifische Investitionskosten		
Wärmepumpe	300	€/kW
Peripherie WP	150	€/kW
Flusswasserentnahmeanlage	180	€/kW
Spezifische Verbrauchskosten		
Strom	0,10	€/kWh
Spezifische Erlöse		
Wärmeerlöse frei Abnahmestelle	0,08	€/kWh
Laufzeit		
Anlage	15	a
Darlehen	15	a

Die spezifischen Investkosten setzen sich aus den Kosten für die Wärmepumpe, Wärmepumpenperipherie und Flusswasserentnahmeanlage zusammen. Werden die spezifischen Investkosten auf die Anlagengröße hochgerechnet, ergibt sich ein Investitionsvolumen von gut 8,8 Mio. € (siehe Tab. 3-10). Es kann davon ausgegangen werden, dass 20 % dieser Kosten durch Förderprogramme gedeckt werden können, so dass eine Summe von 7 Mio. € finanziert werden muss. Bei einem Kalkulationszinssatz ergeben sich jährliche kapitalgebundene Kosten von knapp 700.000 €.

Tab. 3-10 Kapitalgebundene Kosten

	Wert	Einheit
Investitionskosten Neuanlage	8.820.000	€
Förderung 20 %	1.764.000	€
Finanzierung	7.056.000	€
Tilgungsdauer Darlehen	15	a
Kalkulationszinssatz	5,0	% p.a.
Annuitätsfaktor	9,7	%
kapitalgebundene Kosten	679.800	€/a
Summe kapitalgebundene Kosten (gerundet)	680.000	€

Bei den betriebsgebundenen Kosten (siehe Tab. 3-11) werden 310.000 € – 3,5 % des Neuwertes der Anlage – für Wartung und Instandhaltung und für Strombezug (Grund- und Leistungspreis) 95.000 € veranschlagt. Aufgrund des anzunehmenden höheren Wartungsaufwands durch die Belastung durch Sedimente und Organismen wird von den sonst nach VDI 2067 vorgesehenen 1,5 % für Wartung und Instandhaltung abgewichen. Genauso wird in der Betrachtung von einer Nutzungsdauer durch die höhere Belastung von 15 anstatt 20 Jahren ausgegangen.

Tab. 3-11 Betriebsgebundene Kosten

	Wert	Einheit
Wartung und Instandhaltung, fixer Anteil	3,5	% des NW
Wartung und Instandhaltung, Kosten	308.700	€/a
GP Strombezug	1.800	€/a
LP systemdienlicher Einsatz 20 %	94.800	€/a
Summe betriebsgebundene Kosten	405.300	€/a

An verbrauchsgebundenen Kosten (siehe Tab. 3-12) entstehen pro Jahr 1,7 Mio. €. Diese setzen sich aus Stromkosten für die Verdichtungsarbeit der Wärmepumpe und Peripherie (Pumpen, Steuerung, etc.) und einem flexiblen Anteil an Wartungs- und Instandhaltungskosten zusammen.

Tab. 3-12 Verbrauchsgebundene Kosten

	Wert	Einheit
Strom	0,03	€/kWh _{th}
Stromkosten	1.600.000	€/a
Wartung und Instandhaltung, spez. Kosten	30	€/VBH
Wartung und Instandhaltung, Kosten	120.000	€/a
Summe verbrauchsgebundene Kosten	1.720.000	€/a

Erlöse (siehe Tab. 3-13) sind rund 3 Mio. € zu erwarten.

Tab. 3-13 Erlöse

	Wert	Einheit
Wärmeerlöse frei Abnahmestelle	0,08	€/kWh
Netzkosten	0,025	€/kWh
Wärme	0,055	€/kWh
Erlöse aus Wärme	3.024.000	€/a

In der Zusammenfassung (siehe Tab. 3-14) zeigt sich, dass trotz der hohen Investkosten, Wartung und Instandhaltung und der verkürzten Laufzeit bei Inanspruchnahme der Förderung ein jährlicher positiver Deckungsbeitrag von gut 220.000 € zu erwarten ist. Dies entspricht einer Rendite von etwa 3 %. Kann die Laufzeit der Anlage auf 20 Jahre verlängert werden, so steigt die Gesamrendite auf mehr als 10 %. Interessant ist, dass die Anlage selbst dann, wenn die Förderung nicht in Anspruch genommen wird, noch einen positiven Deckungsbeitrag ausweist.

Tab. 3-14 Zusammenfassung der Kosten und Erlöse

	Wert	Einheit
Investitionskosten	-680.000	€/a
Betriebskosten	-405.300	€/a
Verbrauchsgebundene Kosten	-1.720.000	€/a
Erlöse	3.024.000	€/a
Summe jährliche Kosten/Erlöse	218.700	€/a

3.6. Fazit

Umweltwärme, die mithilfe des Einsatzes einer Wärmepumpe genutzt werden kann, kann ökologisch und energetisch sinnvoll sein, wenn kritische Faktoren berücksichtigt werden. Der Nutzen hängt von verschiedenen Faktoren ab, die im Voraus geprüft und/oder umgesetzt werden müssen. Beispielsweise sollte vor der Überlegung zum Einsatz eines Wärmepumpen-Systems prioritär die Höhe des Wärmeverbrauchs durch energetische Sanierung des Gebäudes reduziert werden. Ebenso ist es unabdingbar, die Stromversorgung der Wärmepumpe in den Fokus zu nehmen. Da Wärmepumpen meist elektrisch betrieben werden, ist die Art der Stromerzeugung auf Ökostrom umzustellen, um den positiven Effekt auf die CO₂-Bilanz zu verstärken. Nur so hat der Einsatz einer Heizlösung mithilfe einer Wärmepumpe Aussicht auf langfristigen Erfolg auf ökonomischer und ökologischer Ebene, denn die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat gezeigt, dass trotz der hohen Investkosten ein wirtschaftlicher Betrieb möglich sein kann. Wird die Wärmepumpenanlage zudem in Verbindung mit einem Pufferspeicher stromgeführt gefahren, kann sie als Gegengewicht zu den volatilen Erzeugern fungieren und das Stromnetz stabilisieren.

4 Oberflächennahe Geothermie

4.1. Allgemeines und Herangehensweise

Die Nutzung von Geothermie bis zu einer Tiefe von 100 m wird als oberflächennah bezeichnet. In diesem Bereich sind Temperaturen zwischen 7 und 12 °C (GtV 2017a) zu erwarten, was den Einsatz von Wärmepumpen erforderlich macht (Paar et al., 2013). Zur Erschließung der oberflächennahen Geothermie stehen zwei Technologien, Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden, zur Verfügung. Die Vorteile von Sonden gegenüber Kollektoren sind höhere Betriebstemperaturen und ein geringerer Flächenverbrauch. Allerdings liegen die Investitionskosten von Sonden, aufgrund höherer Kosten für die Bohrung, über denen von Kollektoren. Zur Einbindung in Wärmenetze sind Sonden wegen der höheren Temperaturen gegenüber dem enormen Flächenbedarf der Kollektoren geeigneter.

Für den Betrieb von Erdwärmesonden gilt es zu beachten, dass es dabei – insbesondere bei geringen Sondenabständen – zu einer Abkühlung des Erdreichs (=der Wärmequelle) kommen kann. Um einen langfristigen Ertrag der Sondenfelder zu gewährleisten, sollte Wärme daher rückgeführt und so eine Regenerierung des Erdreichs ermöglicht werden. Im Sommer eignet sich dazu der Einsatz einer Wärmepumpenanlage zur Kühlung oder die Einspeisung von Überschusswärme aus Solarthermie (Thomsen, 2011).

Zur Einbindung von oberflächennaher Geothermie in Wärmenetze stehen Großwärmepumpen zur Verfügung. Besonders geeignet ist dabei die Einspeisung in Niedertemperaturnetze, da die Temperaturspreizung zwischen Erdreich und Fernwärmeverlauf vergleichsweise niedrig ist. Eine Integration in Warmwassernetze ist technisch ebenfalls, allerdings nur unter Inkaufnahme hoher Antriebsenergiemengen, möglich (Klebsch et al., 2014).

Das Potenzial für oberflächennahe Geothermie ist grundsätzlich hoch, wird jedoch insbesondere in dicht bebauten Strukturen durch folgende Faktoren begrenzt:

- Verfügbarkeit von unversiegelter und nicht geschützter Fläche
- Nutzungskonkurrenz um diese Fläche
- räumliche Distanz zu Siedlungsstrukturen, wie Fernwärme- bzw. Warmwasser- und Heizungssystemen

Aufgrund des geringen Flächenverbrauchs und des konstanten Temperaturniveaus haben sich Erdwärmesonden in Mittel- und Nordeuropa als häufigster Anlagentyp etabliert (Gtv, 2017). Daher und angesichts der besseren Eignung für Wärmenetze werden zur Potenzialabschätzung der oberflächennahen Geothermie in Potsdam ausschließlich Sonden betrachtet. Zunächst werden dafür potenzielle Nutzflächen identifiziert und die Anzahl ein-

setzbarer Erdwärmesonden bestimmt. Abschließend wird das thermisch nutzbare Gesamtpotenzial ermittelt.

4.2. Rahmenbedingungen

Bei der Ermittlung potenzieller Nutzflächen ergeben sich verschiedene Einschränkungen. So wird einerseits angenommen, dass eine Vielzahl von Flächen aufgrund genehmigungsrechtlicher Hindernisse für die Gewinnung von Erdwärme in Potsdam auszuschließen ist. Dazu gehören neben den Schlössern und Gärten des UNESCO-Weltkulturerbes auch sämtliche Natur- und Wasserschutzgebiete sowie sonstige Biotope und Waldflächen. Außerdem sind Bohrungen aufgrund der dichten Versiegelung und Unterkellerungen besonders in Innenstadtbezirken nur eingeschränkt möglich.

Die Grundlage für die Berechnung der Geothermie-Potenziale bildet die Versiegelungskartierung der Stadt Potsdam von 2010, die regelmäßig im Rahmen des Umweltmonitorings durchgeführt wird. Sie gibt u. a. den versiegelten und unversiegelten Anteil innerhalb jeder Biotopfläche an. Hierbei gilt es zu beachten, dass die Distanz zwischen einer Erdwärmesonde und dem Wärmeabnehmer (Wärmenetz oder Gebäude) gering sein sollte, um sowohl hohe Anbindungskosten als auch Effizienzverluste beim Wärmetransport zu vermeiden. Es wird angenommen, dass ein wirtschaftlicher Betrieb von oberflächennahen Geothermie-Anlagen im Umkreis von 50 m um bestehende Gebäude möglich ist. Zur Potenzialermittlung wurde daher um jedes Gebäude ein entsprechender Puffer gezogen und mit den Biotopflächen verschnitten. Der Anteil unversiegelter Fläche in den Pufferbereichen wird anschließend ausgerechnet. Für die Berechnung wurden die Biotope „Verkehrsflächen“, „Acker“, „Wasserflächen“, „Sonderform der Bauflächen“, „Moore und Sümpfe“, „Laubgebüsche und Baumreihen“, „Wälder und Forste“ sowie „Wasserschutz- und Fernwärmevorranggebiete“ ausgeschlossen. Basierend auf den beschriebenen Annahmen ergibt sich ein Potenzial an unversiegelter Fläche von 17,70 km² zur Nutzung von oberflächennaher Geothermie. Die Verortung der einzelnen Flächen findet sich in Abb. 4-1.

Weitere Einschränkungen dieses Potenzials ergeben sich aus der vorhandenen Abnehmerstruktur. Nur bei Neubauten sowie energetisch sanierten Bestandsgebäuden und Niedertemperaturnetzen ist eine Einspeisung von oberflächennaher Erdwärme aus ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvoll. Für 20 % des identifizierten Flächenpotentials (3,54 km²) wird eine sinnvolle Nutzung oberflächennaher Geothermie als möglich betrachtet.

Dabei wird gemäß VDI 4640 ein Mindestabstand zwischen zwei Erdwärmesonden von 6 m empfohlen. Da in der Praxis Abweichungen von der ursprünglichen Bohrlochrichtung mit zunehmender Bohrtiefe unvermeidbar sind, sollten die Abstände in Abhängigkeit der Sondentiefe größer ausfallen (BLU, 2012). Im Rahmen der Potenzialabschätzung wird daher ein Mindestabstand von 10 m (1 Sonde je 100 m²) angesetzt. Innerhalb der LHP ergibt sich damit eine theoretisch mögliche Anzahl von 35.400 Erdwärmesonden.

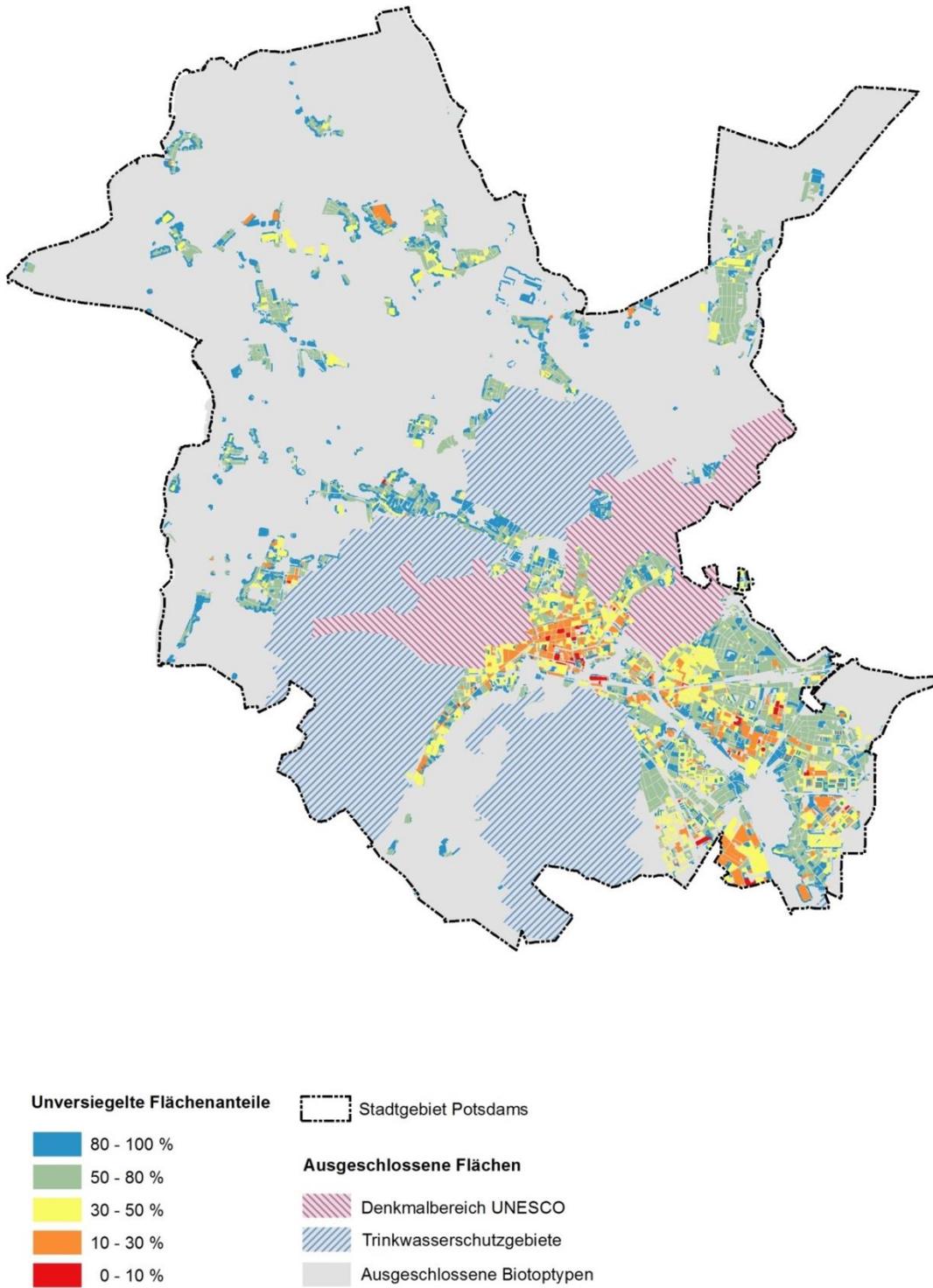


Abb. 4-1 Darstellung des Flächenpotenzials zur Nutzung oberflächennaher Geothermie (Quelle: eigene Berechnung)

4.3. Abschätzung Gesamtpotenzial der oberflächennahen Geothermie

Um die erzielbare Wärmemenge aus der ermittelten Anzahl an Erdwärmesonden abzuschätzen, sind Annahmen in Bezug auf die durchschnittliche technische Auslegung der Sonden und der zugehörigen Wärmepumpe sowie der Beschaffenheit des Bodens nötig. Die hier verwendeten Annahmen (siehe Tab. 4-1) stützen sich auf eine Marktanalyse des internationalen Geothermie-Zentrums aus dem Jahr 2014 und den Vorgaben der VDI Richtlinie 4640.

Im Rahmen der Marktanalyse wurde eine durchschnittliche Heizleistung der in Verbindung mit Erdwärmesonden installierten Sole-Wasser-Wärmepumpen von 12 kW ermittelt. Allerdings zeigt die Vergangenheit, dass die Heizleistung der Wärmepumpen, aufgrund der steigenden energetischen Qualität von Gebäuden und verringerten Heizwärmebedarfen, abgenommen hat (Appelhans et al., 2014). Es wird erwartet, dass sich dieser Trend auch in Zukunft fortsetzt. Deshalb und um die Potenziale oberflächennaher Geothermie nicht zu überschätzen, wird eine deutlich niedrigere durchschnittliche Heizleistung von 4 kW je Wärmepumpe angenommen.

Mit Hinblick auf die Effizienz und Auslastung der Anlagen werden keine grundlegenden Veränderungen für die Zukunft unterstellt und auf die ermittelten Durchschnittswerte der Marktanalyse zurückgegriffen. Für Wärmepumpen ergibt sich damit eine Leistungszahl (engl. coefficient of performance – cop) von 4,5 und Vollbenutzungsstunden von 1.800 h pro Jahr (Appelhans et al., 2014).

Die Sondenlänge wird mit 100 m angenommen. Grund dafür ist, dass Bohrungen von einer Tiefe bis 100 m vom Bergrecht ausgenommen sind, sofern die Nutzung der gewonnenen Erdwärme nicht gewerblich und innerhalb der Grundstücksgrenzen erfolgt (§ 4 Abs. 2 BBergG). Die Ausnahmeregelung gilt demnach für die private Nutzung von oberflächennaher Geothermie, entfällt jedoch im Falle einer Einspeisung in Nahwärmenetze. Alle Bohrungen tiefer als 100 m unterliegen gemäß § 127 BBergG grundsätzlich dem Bergrecht und sind bei der zuständigen Bergbehörde meldepflichtig (GtV, 2017b).

Tab. 4-1 Annahmen und Abschätzung des Gesamtwärmepotenzials von Erdwärmesonden

Beschreibung	Wert
Leistung je Verdampfer (Wärmepumpe)	4 kWh _{th}
Sondenlänge	100 m
COP der Wärmepumpe	4,5
Anlagenverluste	10 %
Vollbenutzungsstunden	1.800 h
Entzugsleistung pro Sondenmeter	40 W/m
Wärmepotenzial oberflächennaher Geothermie	295.000 MWh/a

Welche Wärmemengen aus dem Erdreich entnommen werden können, ist stark von den jeweiligen geologischen Gegebenheiten abhängig und lässt sich nur schwer allgemein bestimmen. Basierend auf allgemeinen Richtwerten der VDI Richtlinie 4640 für schlechten, normalen und Untergrund mit hoher Wärmeleitfähigkeit wird eine mittlere Entzugsleistung von 40 W/m unterstellt.

Die Übertragung von Wärme über Leitungen ist in der Praxis nicht ohne Verluste umsetzbar. Hier werden Anlagenverluste in Höhe von 10 % berücksichtigt. Unter diesen Annahmen ergibt sich ein Gesamtpotenzial von rund 295 GWh Wärme pro Jahr aus oberflächennaher Geothermie.

5 Mittlere und tiefe Geothermie

Die von der Arge beauftragte Potenzialstudie zur mitteltiefen und tiefen Geothermie von Dr. Maren Brehme ist der Teilstudie angehängt.

Literaturverzeichnis

- AWEL. (o. J.):** Planungshilfe – Wärme-Kältenutzung aus Flüssen und Seen; Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft; Baudirektion Zürich.
- BauGB. (2017).** Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. September 2004 (BGBl. I S. 2414), das zuletzt durch Artikel 6 des Gesetzes vom 29. Mai 2017 (BGBl. I S. 1298) geändert worden ist.
- BBergG (2016).** Bundesberggesetz vom 13. August 1980 (BGBl. I S. 1310), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 30. November 2016 (BGBl. I S. 2749) geändert worden ist.
- BbgWG. (2016).** Brandenburgisches Wassergesetz (BbgWG), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 8 des Gesetzes vom 25. Januar 2016 geändert worden ist.
- BbNatSchAG. (2016).** Brandenburgisches Ausführungsgesetz zum Bundesnaturschutzgesetz (Brandenburgisches Naturschutzausführungsgesetz - BbgNatSchAG), das zuletzt durch Artikel 2 Absatz 5 des Gesetzes vom 25. Januar 2016 geändert worden ist.
- BLU. (2012).** Planung und Erstellung von Erdwärmesonden. Sole- oder wasserbetriebenen Erdwärmesonden für Wärmepumpenanlagen mit einer Heizleistung bis maximal 30 kW. Merkblatt Nr. 3.7/2, Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- BNatSchG. (2017).** Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das durch Artikel 4 des Gesetzes vom 29. Mai 2017 (BGBl. I S. 1298) geändert worden ist.
- Dürr. (2011).** Der Fluss schickt keine Energierechnung – Energieeinsparung auf kommunaler Ebene. Dürr thermea GmbH. [Online] 2011. [Zitat vom 15. Dezember 2016] http://www.durr-thermea.com/de/aktuelles/aktuelle-meldungen/item/396-der-fluss-schickt-keine-energierechnung_396
- Fritsche, et al. (2010).** Nutzung tiefer Geothermie in Hessen. Hrsg.: Hessisches Ministerium für Umwelt, Energie, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Wiesbaden.
- GtV. (2017a).** Oberflächennahe Geothermie. Die vielen Möglichkeiten der oberflächennahen Geothermie. Geothermische Vereinigung – Bundesverband Geothermie e.V., Berlin. [Online] 2017. [Zitat vom 07. Februar 2017] <http://www.geothermie.de/wissenswelt/geothermie/technologien/oberflaechennahe-geothermie.html>
- GtV. (2017b).** Bergrecht und Erdwärme – Gesichtspunkte zur Bemessung von Erlaubnis- und Bewilligungsfeldern. Geothermische Vereinigung – Bundesverband Geothermie e.V., Berlin. [Online] 2017. [Zitat vom 07. März 2017] <http://www.geothermie.de/wissenswelt/gesetze-verordnungen-recht/bergrecht-und-erdwaerme.html>
- Appelhans, et al. (2014).** Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes – Bestandsaufnahme und Trends – Internationales GeothermieZentrum Bochum.
- Klebsch, et al. (2014).** Technische und wirtschaftliche Bewertung einer getrennten Betriebsführung von Netz und Erzeugung des Fernwärmenetzes von Vattenfall für den Fall eines Eigentumsübergangs auf Berlin. BLS Energieplan GmbH und Institut für ökologische Wirtschaftsforschung gGmbH, Berlin.
- LHP. (2017).** Naturdenkmäler. Landeshauptstadt Potsdam. [Online] 2017. [Zitat vom 20. Februar 2017.] <https://www.potsdam.de/kategorie/naturdenkmaeler>.
- Paar, et al. (2013).** Transformationsstrategien Fernwärme. TRAFO – Ein Gemeinschaftsprojekt von ifeu-Institut, GEF Ingenieur AG und AGFW. Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V. Frankfurt am Main.
- PBaumSchVO. (2017).** Verordnung zum Schutz der Bäume als geschützte Landschaftsbestandteile der Landeshauptstadt Potsdam (Potsdamer Baumschutzverordnung – PBaumSchVO).
- Söder. (o. J.).** Wärmen und Kühlen mit Flusswasser. DAIKIN Airconditioning Germany GmbH. [Online] o.J. [Zitat vom 13. Dezember 2016] <http://www.daikin.de/fachinformationen/fachaufsatze/flusswasser/>
- StMWi (2017).** Oberflächennahe Geothermie. Arten der Nutzung. Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. [Online] 2017. [Zitat vom 17. April 2017]. https://www.energieatlas.bayern.de/thema_geothermie/oberflaeche/nutzung.html
- Thomsen. (2011).** Leitfaden zur geothermischen Nutzung des oberflächennahen Untergrundes. Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein (LLUR), Kiel. [Online] 2011. [Zitat vom 03. Februar 2017] https://www.umweltdaten.landsh.de/nuis/upool/gesamt/geologie/geothermie_2011.pdf
- TÜV Nord (2016).** Bescheinigung über die energetische Bewertung der Fernwärme nach AGFW Arbeitsblatt FW 309-1 (Mai 2014) für das Fernwärmenetz Potsdam (ohne dezentrale Wärmenetze) der Energie und Wasser

Potsdam GmbH. [Online] 2016. [Zitat vom: 17.01.2017.] https://www.swp-potsdam.de/swp/media/02-energie_1/pdf_energie/pdfs-angebote-fernwaerme/Bescheinigung_EWP_PEF_Waermenetz_2016.pdf

VDI 4640. (2001). Blatt 2: Thermische Nutzung des Untergrunds. Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen. Verein Deutscher Ingenieure, Fachbereich Energiewandlung und –anwendung.

WaZV. (2012). Verordnung über die Zuständigkeit der obersten und der oberen Wasserbehörde (Wasserbehördenzuständigkeitsverordnung – WaZV), die zuletzt durch Artikel 3 der Verordnung vom 19. Juni 2012 geändert worden ist.

WHG. (2017). Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 122 des Gesetzes vom 29. März 2017 (BGBl. I S. 626) geändert worden ist.

WWA-Deg. (2011). Wärmetauscher in oberirdischen Gewässern - Wasserwirtschaftliche Betrachtung; Wasserwirtschaftsamt Deggendorf.

Schwinghammer. (2012). Thermische Nutzung von Oberflächengewässern; Masterarbeit Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Breisgau

**Leistungsbeschreibung zur Teilstudie 1.1.5.1
„Potentiale der Nutzung von Umweltwärme in
der LHP“
Bereich Tiefengeothermie**

Dr. Maren Brehme
Heilbronner Straße 26
10779 Berlin

Studie in Auftrag gegeben von:
BLS Energieplan GmbH
EUREF-Campus, Haus 12
Torgauer Str. 12-15
10829 Berlin
10.03.2017

Inhaltsverzeichnis

Datengrundlage.....	1
Bearbeitung	4
Untersuchungsgebiet	4
Definitionen	5
Chancen und Risiken von Geothermie	5
Thermische Aquiferspeicher und Mitteltiefe	
Geothermie.....	6
Tiefe Geothermie	6
Informationsstand	6
Geologische Gegebenheiten.....	8
Tektonische und strukturgeologische Situation.....	8
Geophysikalische Untersuchungen	9
Geologie und Stratigraphie	9
Hydrogeologische Gegebenheiten.....	11
Regionale Hydrogeologie.....	11
Hydrochemie der Fluide.....	12
Petrophysikalische Eigenschaften	12
Thermische Gegebenheiten.....	13
Regionale Wärmeverteilung.....	13
Geothermisch relevante Schichten	14
Abschließende Bewertung.....	15

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Stadtgebiet von Potsdam in violett gestrichelt umrandet (© OpenStreetMap-Mitwirkende).....	5
Abbildung 2 Karte mit Bohrlokationen in Potsdam (BGR, 2017). Siehe auch Anlage A.....	7
Abbildung 3 Tektonische und Strukturgeologische Situation im Untersuchungsgebiet. Störungen in rot, Salzkissen in Schraffur (LBGR, 2002)	9
Abbildung 4 Hydrogeologischer Aufbau des Känozoikums im Untersuchungsgebiet (Geothermieportal, 2017). Siehe auch Anlage B.....	11

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Geologischen Einheiten und deren Tiefenverteilung im Untersuchungsgebiet.....	10
Tabelle 2 Temperaturverteilung über die Tiefe im Untersuchungsgebiet Potsdam.....	13
Tabelle 3 Tiefenverteilung von geothermisch relevanten Schichten im Untergrund von Potsdam	14

Anlagenverzeichnis

Anlage A Karte mit Bohrlokationen in Potsdam (BGR, 2017).....	17
Anlage B Hydrogeologischer Aufbau des Känozoikums im Untersuchungsgebiet (Geothermieportal, 2017).....	18

Datengrundlage

Das im Rahmen der Studie verwendete Material besteht aus Karten, Berichten und Publikationen. Karten sind dem Atlas zur Geologie von Brandenburg und den Online-Portalen GeotIS, den Seiten der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, des Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg und dem Geothermieportal entnommen. Publikationen sind Artikel aus Fachzeitschriften und Bücher zum Thema Geothermie.

Vorliegendes Material (im Folgenden so bezeichnet):

Agemar, T., Schellschmidt, R., Schulz, R., (2012). Subsurface temperature distribution in Germany. *Geothermics* 44, 65–77

Agemar, T., Weber, J. & Schulz, R. (2014): Deep Geothermal Energy Production in Germany – *Energies* 2014 Volume 7 Issue 7, p. 4397–4416, GeotIS: Geothermal Installations: www.geotis.de (letzter Zugriff: 15.2.2017)

BGR (2017), <https://boreholemap.bgr.de> (letzter Zugriff: 08.03.2017).

Cherubini, Y. (2013) Influence of faults on the 3D coupled fluid and heat transport. Dissertation Universität Potsdam

Frick, M., Scheck-Wenderoth, M., Sippel, J., Cacace, M. (2015): Sensitivity of a 3D Geothermal Model of Berlin with Respect to Upper Boundary Conditions. - *Energy Procedia*, 76, p. 291-300

Fuchs, S., & Förster, A. (2010). Rock thermal conductivity of Mesozoic geothermal aquifers in the Northeast German Basin. *Chemie Der Erde-Geochemistry*, 70, 13-22.

Geothermieportal, (2015). Bürgerinformationssystem oberflächennahe Geothermie, http://www.geothermieportal.de/geothermie_6.0/?Cmd=ShowLogin (letzter Zugriff: 15.2.2017)

Holl, H. G., Hurter, S., Saadat, A., Köhler, S., Wolfgramm, M., Zimmermann, G. & Huenges, E. (2003, September). First hand experience in a second hand borehole: hydraulic experiments and scaling in the geothermal well Groß-Schönebeck after reopening. In *Proc. International Geothermal Conference, IGC-2003 Reykjavik. Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources* (pp. 8-13).

- Huenges, E. (Ed.). (2011). *Geothermal energy systems: exploration, development, and utilization*. John Wiley & Sons.
- Juhlin, C., Giese, R., Zinck-Jørgensen, K., Cosma, C., Kazemeini, H., Juhojuntti, N., Lüth, S., Norden, B. & Förster, A. (2007). 3D baseline seismics at Ketzin, Germany: the CO₂ SINK project. *Geophysics*, 72(5), B121-B132.
- Kastner, O., Sippel, J., Scheck-Wenderoth, M., & Huenges, E. (2013). The deep geothermal potential of the Berlin area. *Environmental earth sciences*, 70(8), 3567-3584.
- Landesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe Staat Brandenburg (LBGR) (2002) *Atlas zur Geologie von Brandenburg: im Maßstab 1: 1000000*. Ed. Werner Stackebrandt. Landesamt für Geowiss. und Rohstoffe Brandenburg
- Norden, B., & Förster, A. (2006). Thermal conductivity and radiogenic heat production of sedimentary and magmatic rocks in the Northeast German Basin. *AAPG bulletin*, 90(6), 939-962.
- Norden, B., & Frykman, P. (2013). Geological modelling of the Triassic Stuttgart Formation at the Ketzin CO₂ storage site, Germany. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 19, 756-774.
- Paschen, H., Oertel, D., & Grünwald, R. (2003). Möglichkeiten geothermischer Stromerzeugung in Deutschland. *Sachstandsbericht, Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht*, 84, 129.
- Polleschner und Pchalek (1964). Ergebnisbericht über die geologischen Speichererkundungsarbeiten an der Struktur Potsdam (Bohrungen Potsdam S1 bis S12 1961/63), VEB Untergrundgasspeicher Burg, Abtl. Geologie, unveröffentlichter Bericht.
- Regenspurg, S., Wiersberg, T., Brandt, W., Huenges, E., Saadat, A., Schmidt, K., & Zimmermann, G. (2010). Geochemical properties of saline geothermal fluids from the in-situ geothermal laboratory Groß Schönebeck (Germany). *Chemie der Erde-Geochemistry*, 70, 3-12.
- Sippel, J., Fuchs, S., Cacace, M., Braatz, A., Kastner, O., Huenges, E., & Scheck-Wenderoth, M. (2013). Deep 3D thermal modelling for the city of Berlin (Germany). *Environmental earth sciences*, 70(8), 3545-3566.
- Stackebrandt, W., und Franke, D. (2015) "Geologie von Brandenburg." Schweizerbart, pp.805

- Stackebrandt, W. (2016) Studie zu Rahmenbedingungen für ‚Aquifer Thermal Energy Storage‘ (ATES) am Beispiel von zwei Standorten in Brandenburg, unveröffentlichter Bericht im Rahmen des Zwanzig20 Forum Wärmewende, gefördert durch das BMBF.
- Stober, I., M. Wolfgramm, and J. Birner. (2013) "Hydrochemie der Tiefenwässer in Deutschland." *Z. geol. Wiss., Berlin* 41.42: 5-6.
- Suchi, E., Dittmann, J., Knopf, S., Müller, C., & Schulz, R. (2014). Geothermie-Atlas zur Darstellung möglicher Nutzungskonkurrenzen zwischen CO₂-Einlagerung (CCS) und Tiefer Geothermie in Deutschland - Geothermal Atlas to visualise potential conflicts of interest between CO₂ storage (CCS) and deep geothermal energy in Germany. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, 165(3), 439-453.
- Wolfgramm, M., Seibt, P., & Lenz, G. (2004). Neue Aspekte der Speicherbewertung für die geothermische Stromerzeugung. *GTV Tagung in Landau, Tagungsband*, 117-127.
- Wolfgramm, M., Rauppach, K., & Seibt, P. (2008). Reservoirgeological characterization of Mesozoic sandstones in the North German Basin by petrophysical and petrographical data. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 36, 249-265.
- Zimmermann, G., & Reinicke, A. (2010). Hydraulic stimulation of a deep sandstone reservoir to develop an Enhanced Geothermal System: Laboratory and field experiments. *Geothermics*, 39(1), 70-77.

Bearbeitung

Die Studie zum geothermischen Potential der Landeshauptstadt Potsdam umfasst zwei Themenbereiche: Das Potential der mitteltiefen und das Potential der tiefen Geothermie. Dafür werden die verschiedenen geologischen, hydrogeologischen und thermischen Gegebenheiten im Untergrund dargestellt und bewertet. Die Darstellung erfolgt in verschiedenen Skalen, der Makroskala (regionale Eigenschaften), der Mesoskala (lokale Situation) und der Mikroskala (Eigenschaften von Gesteinen).

In der Studie wird zu jedem Themenbereich die Datenlage zum Stand 15.02.2017 präsentiert, worauf im Fazit eine Bewertung des geothermischen Potentials erfolgt. Dies ist eine Teilstudie im Rahmen des „Masterplan-Klimaschutz“, welcher darstellt wie die Landeshauptstadt Potsdam bis zum Jahr 2050 klimaneutral versorgt werden kann.

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet Potsdam befindet sich zwischen den Hochwerten 5820800 und 5801000 und den Rechtswerten 356060 und 375400. Die Stadt Potsdam ist in 34 Stadtteile untergliedert. Im Südwesten und Nordosten wird das Gebiet größtenteils durch den Verlauf der Havel begrenzt. Im Untersuchungsgebiet befinden sich zahlreiche weitere Gewässer und fünf Naturschutzgebiete (Abbildung 1).

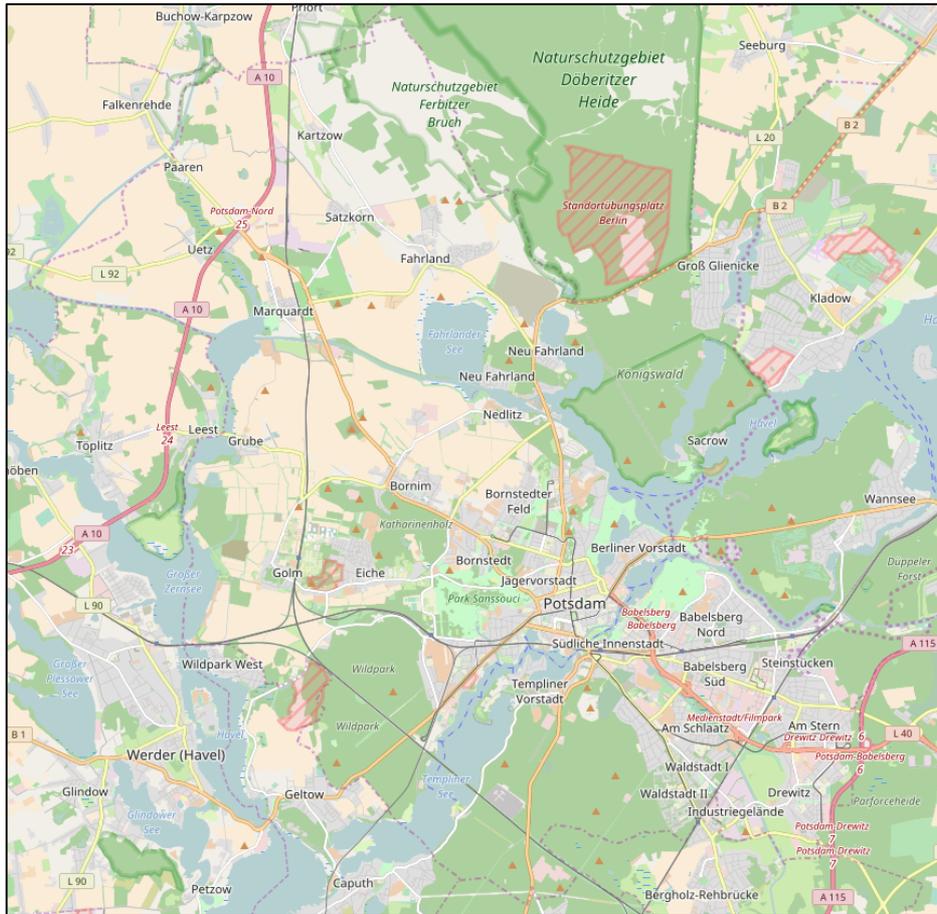


Abbildung 1 Stadtgebiet von Potsdam in violett gestrichelt umrandet (© OpenStreetMap-Mitwirkende)

Definitionen

Chancen und Risiken von Geothermie

Geothermie birgt ein sehr großes noch unerschlossenes Potenzial für nachhaltige Energieversorgung. Sie ist ein dezentral einsetzbarer, grundlastfähiger, heimischer Energieträger. Die CO₂-arme Bereitstellung von Wärme und Strom ist kombinierbar mit anderen grundlastfähigen und nicht grundlastfähigen Energieträgern (Biomasse, Braunkohle, Solarthermie, Windenergie). Da hohe Anfangsinvestitionen (Bohrungskosten) bestehen, muss das Fündigkeitsrisiko (geologische, hydrogeologische und thermische Gegebenheiten) durch Voruntersuchungen so stark wie möglich verringert werden. Im Untersuchungsgebiet bestehen weitere Unsicherheiten in Mineralausfällungen und Korrosion (Huenges, 2011).

Thermische Aquiferspeicher und Mitteltiefe Geothermie

Thermische Aquiferspeicher beruhen auf dem Prinzip der Speicherung von oberflächlich gewonnener Wärme oder Kälte in einem unterirdischen natürlichen Speicher. Die mitteltiefe Geothermie kann jedoch mit Hilfe von Wärmepumpen auch als natürliche Wärmequelle genutzt werden. Aquiferspeicher sind im Idealfall gut durchlässige Gesteine mit effektiven thermischen Eigenschaften. Die Nutzung der Speicher beruht auf dem Prinzip der Einspeicherung von überschüssiger Wärme im Sommer und überschüssiger Kälte im Winter. Im Sommer kann die zuvor eingespeicherte Kälte entzogen und oberflächlich genutzt werden. Im Winter kann die zuvor überschüssige Wärme oberflächlich zum heizen genutzt werden. Mitteltiefe Geothermie wird in einer Tiefe von bis zu 700 m realisiert.

Tiefe Geothermie

Tiefe Geothermie beruht auf dem Prinzip der Nutzung von natürlich vorhandenen Ressourcen. Die Ressource ist heißes Thermalwasser, welches an die Oberfläche gefördert und dessen thermische Energie direkt als Wärme genutzt wird oder in Kälte bzw. elektrische Energie umgewandelt wird. Tiefe geothermische Ressourcen können im Norddeutschen Becken ab 3000 m Tiefe genutzt werden.

Informationsstand

Geologische, hydrogeologische und thermische Informationen zum Untersuchungsgebiet wurden anhand von Kartenmaterial, Berichten und Publikationen gewonnen. Die räumliche Auflösung unterscheidet sich dabei stark.

Aussagen zur Strukturgeologie beruhen auf regionalen geophysikalischen Studien im norddeutschen Raum. Geologie und Stratigraphie des Untersuchungsgebietes wurden anhand von geologischen Karten und Bohrprofilen aus dem Raum Potsdam analysiert. Es lagen 34 Bohrprofile (>100 m Tiefe) vor, von denen zwölf bis ~1000 m Tiefe reichen und 22 bis maximal 322 m Tiefe (Abbildung 2). Zusätzlich wurden veröffentlichte Bohrprofile (bis 850 m Tiefe) des Standortes Ketzin und Informationen zur Tiefbohrung Potsdam (bis 3370 m Tiefe) zur Analyse der regionalen Geologie verwendet.

Die Aussagen zur hydrogeologischen Beschaffenheit des Untergrundes im Untersuchungsgebiet beruhen auf regionalen Studien in Brandenburg und Karten im Maßstab 1:50 000 vom Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe.

Chemische, physikalische und thermische Eigenschaften der Wässer und Gesteine wurden auf Basis von Proben aus repräsentativen Bohrungen im Norddeutschen Becken analysiert. Die Proben wurden aus geologischen Schichten entnommen, die auch im Untersuchungsgebiet als geothermisch relevant eingeschätzt werden.

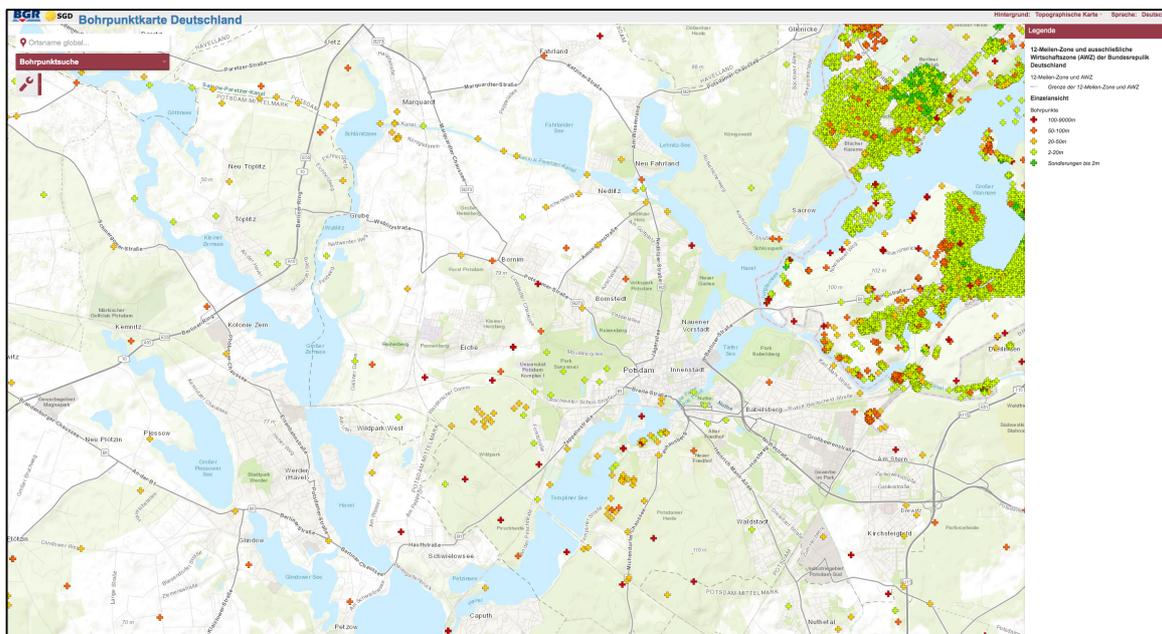


Abbildung 2 Karte mit Bohrlokationen in Potsdam (BGR, 2017). Siehe auch Anlage A

Geologische Gegebenheiten

Tektonische und struktureologische Situation

Das Untersuchungsgebiet Potsdam liegt in einer Region, die tektonisch durch fünf Hauptphasen geprägt wurde. Das Grundgebirge unterlag einer starken tektonischen Beanspruchung während der variszischen Gebirgsbildung. Diese geht auf die Kollision der beiden Kontinente Gondwana und Laurussia im mittleren Paläozoikum zurück und war vor allem durch Faltungs- und Überschiebungsprozesse charakterisiert. Die darauf folgende postvariszische Phase ist von Dehnung, Senkung und Beckenbildung geprägt. Darauffolgend treten entlang der regional angelegten tektonischen Elemente Salzstrukturen auf und bilden sogenannte Salzkissen. Die neotektonische Phase beschreibt den derzeitigen Deformationszustand des Untersuchungsgebietes. Hauptstruktur der neotektonischen Beanspruchung im Untersuchungsgebiet ist die NW streichende mitteleuropäische Senkungszone, welche von der nördlichen und mitteleuropäischen Hebungszone eingerahmt wird. Lokale neotektonische Elemente sind Salinarstrukturen und regionale Störungen. Die darauffolgenden tektonischen Prägungen sind quartärzeitliche Rinnen, die bis zu 500 m in die unteren Schichten einschneiden können. Regionale glazialtektonische Deformationen erreichen Tiefen von <200 m (Stackebrandt und Franke, 2015).

Im Stadtgebiet Potsdam verlaufen drei Hauptstörungen. Eine NW streichende Tiefenstörung im NO von Potsdam, eine WSW streichende Störung im S von Potsdam und eine NO streichende Störung W von Potsdam (Abbildung 3). Außerdem reicht die Struktur eines Salzkissens von NW in das Stadtgebiet hinein. Durch das Stadtgebiet verläuft in NO-SW Richtung die Potsdamer Sattelstruktur (LBGR, 2002; Stackebrandt und Franke, 2015).

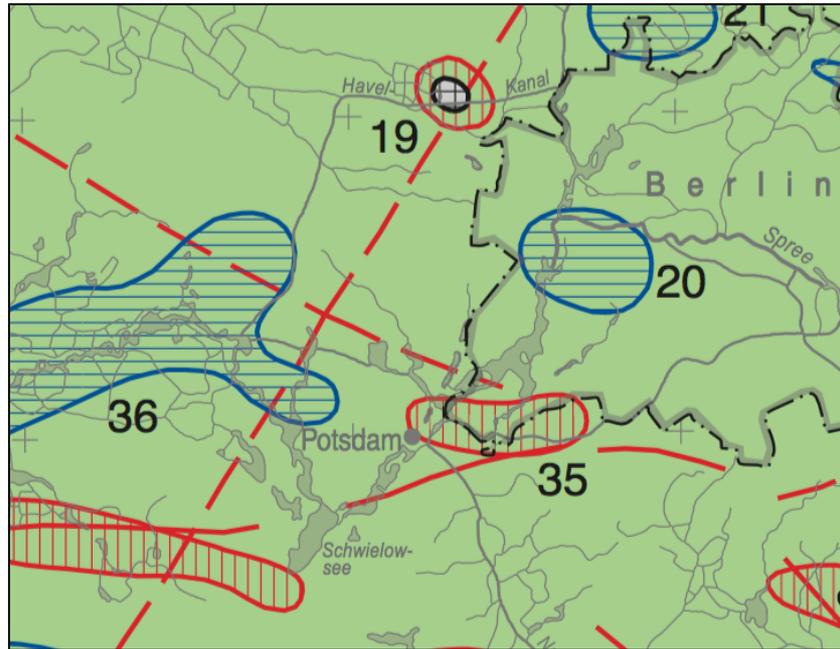


Abbildung 3 Tektonische und Strukturgeologische Situation im Untersuchungsgebiet. Störungen in rot, Salzkissen in Schraffur (LBGR, 2002)

Geophysikalische Untersuchungen

Geophysikalische Untersuchungen haben das Ziel Kenntnisse über das Störungsnetzwerk sowie den geologischen Aufbau im Untergrund zu erlangen. Geophysikalische Untersuchungen wurden im Bundesland Brandenburg im Rahmen von seismischen, magnetotellurischen, gravimetrischen und magnetischen Erkundungen durchgeführt.

Gravimetrische und magnetische Messungen zeigen eine leicht positive Anomalie im Untersuchungsgebiet Potsdam. Diese ist durch aufgeschobene Kruste oder Intrusivkörper bedingt (Stackebrandt und Franke, 2015). Regionale magnetotellurische und seismische Erkundungen beschränkten sich auf den Norden Brandenburgs, so dass keine Rückschlüsse auf das Untersuchungsgebiet Potsdam möglich sind. Lokale seismische Erkundungen wurden außerdem in Ketzin durchgeführt. Sie zeigen eine NNO streichende Antiklinalstruktur der mesozoischen Schichten (Agemar et al., 2014; Juhlin et al., 2007).

Geologie und Stratigraphie

Das Untersuchungsgebiet Potsdam liegt geologisch betrachtet im Norddeutschen Becken. Das metamorphe Grundgebirge im norddeutschen Raum besteht aus stark verformten und gestörten Gesteinen der variszischen Orogenese. Diese Gesteine sind in Brandenburg in einer Tiefe von 5 bis 10 km anzutreffen. Die überlagernden Gesteine sind klastische oder marine Sedimente des Oberkarbons und Unterrotliegend, welche durch vulkanische Intrusionen durchbrochen werden. Ab

2,8 km Tiefe trifft man auf bis zu 600 m mächtige Salzablagerungen des Zechsteins. Die triassischen Sedimente bestehen aus klastischen (Buntsandstein) und marinen (Muschelkalk) Ablagerungen, gefolgt von mergeligen und anhydritischen Gesteinen des Keupers. Die über 600 m mächtigen Jura-Schichten sind wie die kreidezeitlichen Sedimente von Regressions- und Transgressionsphasen des Meeres geprägt. Wiederholte Meeresvorstöße aus Nordwesten und nachfolgende Verlandung führen zu sandig-tonigen Ablagerungen, die heute in bis zu 1 km Tiefe anzutreffen sind. Das Quartär war vor allem durch eiszeitliche Ablagerungen geprägt, die Sand, Tone und Mergel umfassen (Tabelle 1, LBGR, 2002; Stackebrandt und Franke, 2015, Stackebrandt, 2016).

Die geologischen Schichten bei Potsdam sind Teil einer Antiklinale und fallen im Stadtgebiet leicht nach OSO ein. Bohrungen im Stadtgebiet Potsdam durchteufen diese Schichten in bis zu 1000 m Tiefe. In dieser Tiefe sind triassische Sedimente des mittleren Keupers anzutreffen. Die überlagernden Schichten folgen dem zeitlichen Ablauf des Jura (Lias, Dogger, Malm) und Tertiär. Schichten der Kreide sind nur geringmächtig oder nicht ausgeprägt. Oberflächlich anzutreffende geologische Schichten sind in der Regel quartär. Durch rezente Erosion an Flussverläufen können auch tertiäre Sedimente an der Oberfläche anstehen (LBGR, 2002; Polleschner und Pchalek, 1964).

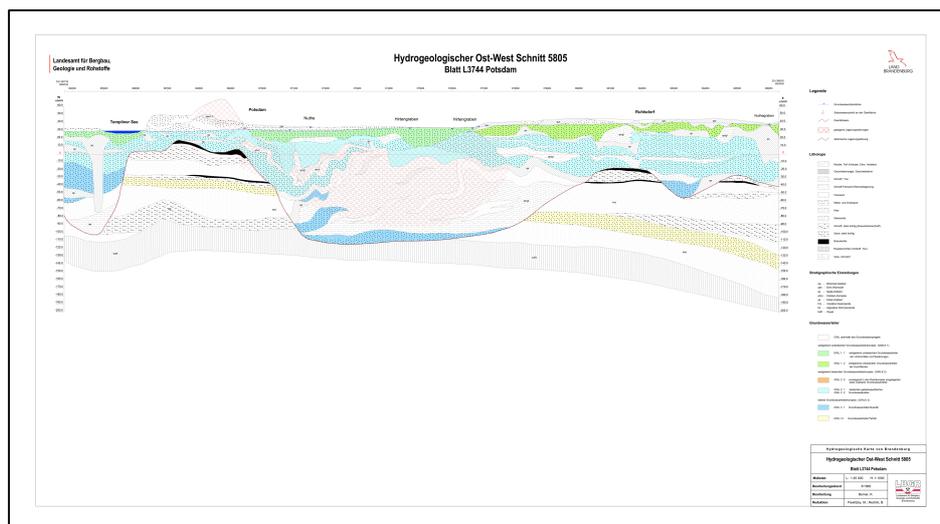
Tabelle 1 Geologischen Einheiten und deren Tiefenverteilung im Untersuchungsgebiet

Tiefe Top Einheit [m]	Geologische Einheit
0	Känozoikum
250	Jura
600	Trias
2800	Zechstein
3400	Rotliegend
3700	Vulkanite
>5000	Grundgebirge

Hydrogeologische Gegebenheiten

Regionale Hydrogeologie

Die regionale Hydrogeologie unterteilt sich in oberflächennahe und tiefe grundwasserführende Schichten. Oberflächennahe Grundwasserleiter im Untersuchungsgebiet kommen in den 100 bis 200 m mächtigen känozoischen Lockergesteinen in drei getrennten Stockwerken vor. Zwischen 50 und 150 m Tiefe tritt eine Wechsellagerung von tertiären Sanden und Schluffen auf, die durch den Rupelton in ca. 200 m Tiefe begrenzt werden (Abbildung 4, Geothermieportal, 2017; LBGR, 2002). Der Rupelton bildet eine wichtige Barriere zu den hochmineralisierten Wässern im Untergrund. Der Grundwasserflurabstand im Stadtgebiet Potsdam liegt überwiegend bei <10 m. Die regionale Grundwasserströmung ist von den Hochlagen im Norden Brandenburgs Richtung Süden und von dem Neubildungsgebiet im Fläming Richtung Norden (LBGR, 2002).



**Abbildung 4 Hydrogeologischer Aufbau des Känozoikums im Untersuchungsgebiet (Geothermieportal, 2017).
Siehe auch Anlage B**

Tiefere grundwasserführende Schichten sind tertiäre Sande unterhalb des Rupeltons (~250 m), jurassische Sande des Lias (~500 m), der Buntsandstein der Trias (~1.5 km), das Rotliegendes des Perm (>3.4 km) oder Vulkanite des Permokarbon (~3.7 km) (LBGR, 2002; Norden und Frykman, 2013; Sippel et al., 2013; Stober et al., 2013).

Im Stadtgebiet Potsdam haben die Sedimente des Lias eine Mächtigkeit von >250 m und der Mittlere Buntsandstein eine Mächtigkeit von 200 bis 225 m. Das Rotliegendes des Perm hat im Stadtgebiet von Potsdam eine Mächtigkeit von bis zu 200 m wobei

die Vulkanite eine Mächtigkeit von ca. 300 m erreichen. Alle beschriebenen Schichten sind über das gesamte Stadtgebiet verbreitet (LBGR, 2002).

Hydrochemie der Fluide

Bei den Wässern in den tiefen Aquiferen im Norddeutschen Becken handelt es sich um eingeschlossenes Porenwasser und saline Lösungen, die durch Evaporation entstanden sind. Salinitäten von >35 g/L sind ein Indikator für Evaporation. Trotzdem stehen die Fluide unter diagenetischem und metamorphem Einfluss, sowie der Mischung mit Fluiden anderer stratigraphischer Einheiten. Hauptbestandteile der hochsalinaren Fluide sind Chlorid und Natrium, gefolgt von Calcium und Sulfat. Die Salinitäten der mesozoischen Fluide liegt zwischen 155 und 286 g/L, wohingegen die Fluide des Paläozoikum Salinitäten von 266 bis 286 g/L aufweisen (Stober et al., 2013).

Petrophysikalische Eigenschaften

Petrophysikalische Reservoireigenschaften dienen der detaillierteren Charakterisierung der geologischen Einheiten und damit auch als Eingangsparameter für Modelle. Diese Parameter sind Porosität und Permeabilität. Porositäten der mesozoischen und paläozoischen Sandsteine liegen laut Literaturangaben bei $>20\%$, Permeabilitäten liegen über 250 mD (Stober et al., 2013; Wolfgramm et al., 2004; Wolgramm et al., 2008). Für die Sandsteine des Dogger werden Porositäten von 25-30% und Permeabilitäten von 500 – 1000 mD angegeben (Stackebrandt, 2016).

Thermische Gegebenheiten

Regionale Wärmeverteilung

Die Temperatur und Wärmeverteilung im Untergrund variiert mit Tiefe und Lokation und ist abhängig vom krustalen Wärmestrom. Eine tiefenabhängige Temperaturabschätzung beruht entweder auf direkten Temperaturmessungen in Bohrlöchern, oder kann, wo Bohrlochdaten nicht verfügbar sind, indirekt aus thermischen Modellierungen des Erdtemperaturfeldes abgeschätzt werden. Solche Modelle benötigen Kenntnis der regionalen Verteilung thermischer Gesteinseigenschaften, etwa der Wärmeleitfähigkeit.

Mittlere Wärmeleitfähigkeiten für mesozoischen Sandsteine variieren im Norddeutschen Becken zwischen 2.1 und 3.8 W/m/K (Fuchs und Förster, 2010; Sippel et al., 2013) und zeigen damit etwas niedrigere Werte als für paläozoische Sandsteine (2.3 – 4.8 W/m/K) (Norden und Förster, 2006). Die mittlere Oberflächen-Wärmestromdichte im Norddeutschen Becken liegt bei rund 77 +/- mW/m (Norden und Förster, 2006).

Der geothermische Gradient im Untersuchungsgebiet liegt zwischen 34 und 42°C/km (Agemar et al., 2012, LBGR, 2002, Sippel et al., 2013, Wolfgramm et al., 2004, Zimmermann und Reinicke, 2010). Damit liegen die Temperaturen unter Berücksichtigung von konduktivem und konvektivem Wärmetransport in 1000 m Tiefe bei 30 – 40°C und in 3000 m Tiefe bei 90 - 100°C (Tabelle 2, Sippel et al., 2013). Erwartete Temperaturen im Lias liegen bei 40 bis 60°C (Paschen et al., 2003; Suchi et al., 2014). Der Top Buntsandstein weist dadurch eine Temperatur von ~50°C und das Top Rotliegend eine Temperatur von ~115°C auf (Sippel et al., 2013).

Tabelle 2 Temperaturverteilung über die Tiefe im Untersuchungsgebiet Potsdam

Tiefe [m]	Temperatur [°C]
1000	38
2000	75
3000	110
4000	120
5000	160
6000	200

Geothermisch relevante Schichten

Aus geologischen, hydrogeologischen und thermischen Untersuchungen ergeben sich mehrere geothermisch relevante Schichten im Stadtgebiet Potsdam. Der Rupelton dient dabei als sichere Barriere zu flachen Grundwasserleitern. Nur im äußersten NW des Stadtgebietes gibt es eine Fläche, in der der Rupelton unterbrochen ist. Generell sind die geologischen Schichten im NW in geringerer Tiefe anzutreffen. Geothermisch relevante Schichten sind Sandsteine des Mesozoikums und Paläozoikums sowie Vulkanite des Paläozoikums. Aufgrund der begrenzten Datenlage können nur durchschnittliche Werte für Porosität und Permeabilität angegeben werden. Porositäten der mesozoischen Sandsteine liegen bei 25-30% und Permeabilitäten bei 500 – 1000 mD. Die paläozoischen Gesteine haben Porositäten von >20% und Permeabilitäten von >250 mD.

Sandsteine des Mesozoikums treten in Potsdam im Lias und im Dogger auf und sind 58 - 140 m mächtig. Dieser Sandstein besteht aus Mittel- bis Feinsand mit Schlufflagen. Die Schichten weisen Temperaturen zwischen 20 und 60°C auf.

Der darunterliegende Mittlere Buntsandstein ist >200 m mächtig, jedoch wahrscheinlich von Tonsteinlagen unterbrochen. Er weist Temperaturen zwischen 60 und 80°C auf.

Paläozoische Sandsteinschichten sind im Rotliegend maximal 200 m mächtig. Diese Schichten weisen Temperaturen von ca. 115°C auf.

Vulkanite aus dem Permokarbon sind im Raum Potsdam ca. 200 m mächtig. Zu erwartende Temperaturen liegen bei 120°C (Tabelle 3).

Tabelle 3 Tiefenverteilung von geothermisch relevanten Schichten im Untergrund von Potsdam

Tiefe Top Schicht [m]	Geologische Einheit mit Mächtigkeit [m]	Temperatur [°C]
300	Mittlerer Jura (Dogger) 58-66	20-40
500	Unterer Jura (Lias) 135-140	40-60
1500	Untere Trias (Buntsandstein) >200	60-80
3400	Unteres Perm (Rotliegend) <200	115
3700	Permokarbon (Vulkanite) 200	120

Abschließende Bewertung

Die vorliegende Studie zeigt ein hohes geothermisches Potential für das Stadtgebiet Potsdam. Das Potential besteht sowohl für thermische Aquiferspeicher und mitteltiefe als auch für tiefe Geothermie. Dies lässt verschiedene Nutzungskonzepte zu. Bisher gibt es keine Nutzung von mitteltiefer oder tiefer Geothermie im Stadtgebiet Potsdam.

Ergebnisse zeigen, dass mitteltiefe Geothermie in Potsdam in Tiefen ab 300 m möglich ist. Im Untersuchungsgebiet werden in dieser Tiefe jurassische Sande angetroffen. Erwartete Temperaturen in dieser Tiefe betragen 20 – 60°C. Die erwarteten Sandsteine haben eine hohe Porosität von 20 - 30% und Permeabilitäten von 250 - 1000 mD. Dies sind sehr gute Eigenschaften für eine direkte Nutzung und eine Nutzung mit saisonaler Speicherung. Mitteltiefe Geothermie ist auch in einer Tiefe von 1,5 km in den Schichten des Buntsandsteins realisierbar. Hier liegen die Temperaturen zwischen 60 und 80°C.

Für tiefe Geothermie stehen Sandsteinschichten des Rotliegend und Vulkanite des Permokarbon zur Verfügung. Hier werden Temperaturen von 115 – 120°C erwartet. Die Sandsteine, die für die tiefe Geothermie zur Verfügung stehen, haben eine hohe Porosität von >20% und eine Permeabilität von >250 mD. Diese Schichten stehen für direkte hydrothermale Nutzung zur Wärmegewinnung oder Stromproduktion zur Verfügung.

Trotz der durch diese Studie schon erreichten Reduktion des Fündigkeitsrisikos befreit dies nicht von der Notwendigkeit, vor der konkreten Planung eines Projektes, noch zusätzliche Studien zur Abschätzung der verbleibenden Unsicherheiten durchzuführen. Die Unsicherheiten liegen in eingeschränkter Kenntnis beispielsweise des strukturgeologischen Aufbaus des Untergrundes, der hydraulischen und hydrochemischen Prozesse im Reservoir und dadurch der lokalen Temperaturverteilung im Untersuchungsgebiet. Zum Teil bilden diese Kenntnisse die Voraussetzung für die bergrechtlichen Genehmigungsverfahren.

Es wird empfohlen, die weiteren Untersuchungen auf Basis vergleichbarer Studien zu konvektivem und konduktivem Wärmetransport in störungskontrollierten Gebieten durchzuführen (beispielsweise: Frick et al., 2015; Kastner et al., 2013; Sippel et al., 2013, Cherubini, 2013). Der strukturgeologische Aufbau beeinflusst die hydraulischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet stark. Fließrichtung und -geschwindigkeit von Grundwasser werden von hydraulischen Barrieren (Störungszonen) kontrolliert. Fließgeschwindigkeit wiederum wirkt sich auf spätere

potentielle Fördermengen aus. Die Nutzung von Geothermie muss jedoch auch sensibel auf die natürlichen Bedingungen abgestimmt werden, da es sonst zu Komplikationen beim Betrieb kommen kann. Beispielsweise, müssen die hydrochemischen Verhältnisse des Thermalwassers genau bekannt sein um Mineralausfällungen und Korrosion zu verhindern (Holl et al., 2003; Regenspurg et al., 2010).

Die sorgfältige Erfassung aller Unsicherheiten erhöht auch das Verständnis der hydraulischen Prozesse im Reservoir und seiner direkten Umgebung während der Erschließung und des Betriebes der Anlage. Die vorliegende Datenlage weist auf ein hohes Potenzial an wirtschaftlicher Schöpfung der Erdwärme an dem vorgeschlagenen Standort hin.



Berlin, 10.03.2017
Dr. Maren Brehme

Anlage A: Karte mit Bohrlokationen in Potsdam (BGR, 2017)

