

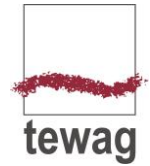
# Abschlussbericht

## Potentialanalyse der thermischen Nutzung von Seen im Landkreis Karlsruhe

Proj.-Nr.: 30397

Bearbeiter: Kathrin Singer  
Vincent Voßhenrich  
Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn

Datum: 20. Juli 2022



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ausarbeitung der auf dem Markt verfügbaren Technologien zum Wärmeentzug aus Seen .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Potenzialeinschätzung des Wärmeentzuges aus Seen im Landkreis Karlsruhe .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Mögliche rechtliche und technische Hemmnisse der Umsetzung .....</b>	<b>9</b>

## Verwendete Unterlagen

- [1] Amt für Wasser und Energie St. Gallen (2019): Planungshilfe Wärme- und Kältenutzung aus dem Bodensee, Kanton St. Gallen; Stand August 2019
- [2] AWEL (2022): Planungshilfe Wärme- Kältenutzung aus Flüssen und Seen, Kanton Zürich; Stand 2022
- [3] Boos, H.-J. (2011): Energiegewinnung durch Nutzung von Seewasser aus Baggerseen. In: Steinbruch und Sandgrube Bd. 104, Nr.6. S. 28–30.
- [4] Eawag (2022): „fact sheet“ Wärmenutzung aus Seen und Fließgewässern, Stand Januar 2022
- [5] EWZ (2022): Klimafreundliche Verbundlösungen für Städte und Gemeinden (PDF), zu finden unter <sup>[12]</sup> (ewz.ch); abgerufen am 13.07.2022
- [6] Faessler, J.; Hollmuller, P.; Lachal, B.; Viquerat, P. (2012): Valorisation thermique des eaux profondes lacustres: le réseau genevois GLN et quelques considerations générales sur ces systems. In: Archives des Sciences vol. 65. S. 215–228.
- [7] Hack, F. (2022): Grüne Wärme aus dem Rhein. Vortrag beim Webinar des Bundesverband Windenergie am 28.06.2022
- [8] Kammer, H. (2017): Thermische Seewassernutzung in Deutschland Bestandsanalyse, Potential und Hemmnisse seewasserbetriebener Wärmepumpen, Springer-Verlag.
- [9] Schwinghammer, F. (2012): Thermische Nutzung von Oberflächengewässern, Institut für Hydrologie der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br.
- [10] Umweltministerium Baden-Württemberg (UM) (2009): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Grundwasserwärmepumpen für Ein- und Zweifamilienhäuser oder Anlagen mit Energieentzug bis zirka 45000 kWh pro Jahr, 1. Auflage 2009
- [11] Westende, T. (2021): Thermal Energy from Surface Waters: The thermal effects and underlying processes during thermal energy extraction from surface waters; a case study in the canals of Amsterdam
- [12] <https://www.ewz.ch/de/geschaeftskunden/immobilien/referenzen-projekte/seewasserverbunde-zuerichsee.html> ; Internetveröffentlichung (Projektkurzbericht) abgerufen am 13.07.2022

## 1 Ausarbeitung der auf dem Markt verfügbaren Technologien zum Wärmeentzug aus Seen

Grundsätzlich soll eine Wärmeübertragung von einem Umweltmedium, in diesem Fall Oberflächenwasser, auf Heizwasser erfolgen, das dann ein höheres Temperaturniveau erreicht. Da eine direkte Wärmeübertragung aufgrund zu niedriger Oberflächenwassertemperaturen nicht möglich ist, ist eine Wärmepumpe einzusetzen, um das Heiz- und Trinkwarmwasser auf ein ausreichend hohes Temperaturniveau bringen zu können. Die Übertragung und damit die Nutzung der Umweltwärme kann auf verschiedene Arten erfolgen. Speziell für die thermische Nutzung von Oberflächengewässern kommen zwei verschiedene Arten von Systemen in Betracht:

- Offene Systeme
- Geschlossene Systeme

Bei offenen Systemen wird das Wasser direkt aus dem Oberflächengewässer entnommen. Dieses wird dann am Verdampfer vorbeigeführt und bewirkt die Verdampfung des Kältemittels, das anschließend den Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe durchläuft. Um Vereisungen am Verdampfer zu vermeiden, liegt die Einsatzgrenze von handelsüblichen Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei +7 °C Wassertemperatur, bzw. höhere Temperaturen als 20 °C bewirken je nach Arbeitsfluid der Wärmepumpe (Wärmepumpenkreislauf), ebenso Störungen im späteren Anlagenbetrieb. Oft wird bei offenen Systemen aufgrund genehmigungsrechtlicher Auflagen oder aus Gründen der Betriebssicherheit ein Zwischenkreislauf vorgesehen. Hierbei wird die Wärmeenergie des Oberflächenwassers mittels Wärmetauscher auf das Wärmeträgermedium des Zwischenkreislaufes übertragen. Im Zwischenkreislauf wird zur Sicherstellung der Betriebssicherheit ein Wasser-Glykol-Gemisch eingesetzt. Dieses Wärmeträgermedium fließt dann in einem separaten Kreislauf an einem weiteren Wärmetauscher am Verdampfer der Wärmepumpe vorbei und ermöglicht die Verdampfung des Kältemittels.

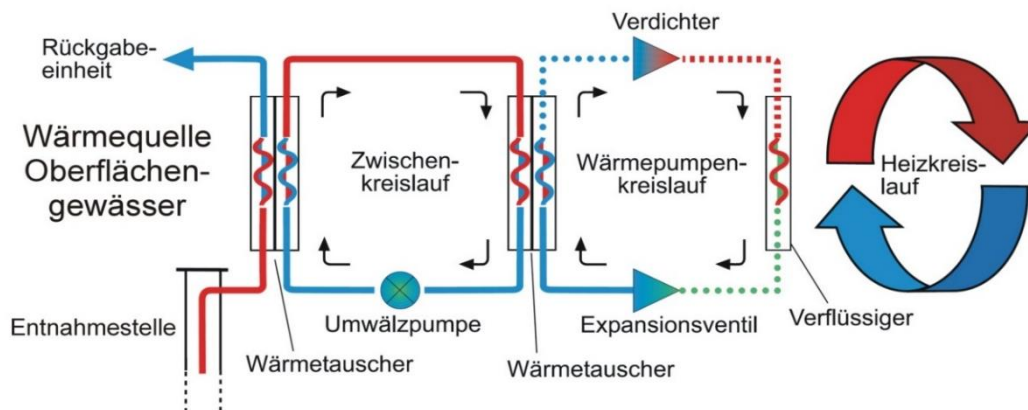
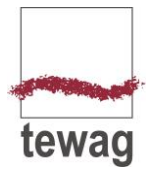


Abbildung 1: Schema eines offenen Systems mit Zwischenkreislauf <sup>[10]</sup>

Für große Wärmepumpenanlagen im Bereich > 200 kW Heizleistung sind generell offene Systeme vorzusehen, da im Vergleich zu geschlossenen Systemen aufgrund der höheren Energiedichte höhere Leistungen zu erzielen sind. Mit der Zeit kann die Leistung des Systems jedoch durch Ablagerungen (Bewuchs, Schlamm etc.) abnehmen, was eine regelmäßige Reinigung der Filter und Rohrleitungen und dadurch einen regelmäßigen Mehraufwand mit sich bringt, der nur bei größeren Anlagen wirtschaftlich tragbar ist. Außerdem ist darauf zu achten, dass die im Winter vorherrschenden niedrigen Wassertemperaturen nur mit höherem technischen Aufwand direkt nutzbar gemacht werden können. Bei individuell angefertigten Großwärmepumpen mit entsprechend ausgelegten Wärmetauschern ist die Nutzung bis zu +3 °C Wassertemperatur möglich<sup>Fehler!</sup> Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.

Bei geschlossenen Systemen ist der Wärmetauscher direkt in das Oberflächengewässer eingebaut. Darin zirkuliert das Wärmeträgermedium, nimmt die Wärmeenergie auf und strömt dann mit einer ausreichend hohen Temperatur am Verdampfer der Wärmepumpe vorbei und bringt das Kältemittel zum Verdampfen. Das Wärmeträgermedium kann dabei, je nach behördlichen Vorgaben, Wasser oder ein Wasser-Glykol-Gemisch sein. Aufgrund der begrenzten Leistung eignen sich diese Systeme für kleine bis mittlere Anlagen von bis zu 100-200 kW Heizleistung. Geschlossene Systeme sind praktisch wartungsfreie Wärmequellen und ermöglichen die Nutzung des Oberflächenwassers auch bei niedrigen Temperaturen, sofern Frostschutzmittel im Wärmeträgermedium verwendet wird. Dies ist im Einzelfall mit der zuständigen Behörde zu klären.



Aktuell gibt es nur für geschlossene Systeme kommerzielle Ausführungen auf dem Markt. Offene Systeme hingegen verlangen bei der Umsetzung nach einer individuellen Planung und individuellen Fertigung und Ausführung des jeweiligen Systems. Es gibt Beispiele für erfolgreich umgesetzte Projekte thermischer Seewassernutzung mittels offener Systeme, beispielsweise in großen Seen der Schweiz (z.B. Genfer See, Zürichsee, Bodensee, Bielersee). Aber auch in Deutschland wurden bereits erfolgreich derartige Anlagen installiert, z.B. am Laacher See.

## 2 Potenzialeinschätzung des Wärmeentzuges aus Seen im Landkreis Karlsruhe

Im ersten Schritt der Potenzialabschätzung wurde in GIS die Morphologie jedes einzelnen Sees erfasst um nachfolgend daraus die Fläche zu berechnen. Nach Rücksprache mit der UEA Karlsruhe, wurde angenommen, dass die Tiefe der Seen außerhalb der Uferzone im Durchschnitt 85 % der maximalen Tiefe beträgt. Um nun näherungsweise das Wasservolumen der Seen zu ermitteln, wurde daher die Fläche der Seen, abzüglich eines 10 m breiten Uferbereiches, mit 85% der maximalen Wassertiefe multipliziert. Die Änderung der inneren Energie (d.h. die potentiell freisetzbare Wärme) bei Abkühlung des Wassers um eine bestimmte Temperaturdifferenz  $\Delta\vartheta$  wurde anhand folgender Formel und Parameter bestimmt:

*Tabelle 1: Darstellung der angenommenen Parameter zur Berechnung der potenziellen Leistung und Energie der Seen.*

$$\Delta E_i = c * m * \Delta\vartheta$$

Parameter	Wert
Wassertemperatur [°C]	11
Abkühlung See $\Delta\vartheta$ [K]	1
Spez. Wärmekapazität c [kJ/(kg*K)]	4,19
Dichte $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	999,608
Masse m [kg] = Volumen [m <sup>3</sup> ] * Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]	

Zur Berechnung der potentiellen Leistung, wurde die Energie durch 2.000 Vollbenutzungsstunden geteilt.

*Tabelle 2: Darstellung der wichtigsten Seeparameter, sowie der potenziell vorhandenen Energie und Leistung der jeweiligen Seen.*

Nr.	Name	Fläche [ha]	max. Wassertiefe [m]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Potenzielle Energie [MWh]	Potenzielle Leistung [MW]
1	Äußeres Fischwasser	56	40	17.782.000	20.688	10,3
2	Badesee Buchtzig	8,4	20	1.156.000	1.345	0,7
3	Baggersee Blankenloch	4,1	12	326.400	380	0,2
4	Baggersee Eggenstein	40,2	24	7.384.800	8.592	4,3
5	Baggersee Giesen	89,2	19	13.339.900	15.520	7,8
6	Baggersee Hochstetten	27,8	21	4.551.750	5.296	2,6
7	Baggersee Leopoldshafen	63,8	27	13.770.000	16.020	8,0
8	Baggersee Linkenheim	20,5	14	2.118.200	2.464	1,2
9	Baggersee Pfander	10,4	24	1.815.600	2.112	1,1
10	Baggersee Spöck	8,4	20	1.224.000	1.424	0,7
11	Baggersee Staffort	14,9	17	1.864.050	2.169	1,1
12	Baggersee Untergrombach	22,1	27	4.590.000	5.340	2,7
13	Baggersee Weingarten	35,5	25	6.863.750	7.986	4,0
14	Eppelsee	38,7	42	12.566.400	14.620	7,3
15	Ferma See	39,3	14	4.200.700	4.887	2,4
16	Freizeitzentrum Erlichsee	107,6	14	11.745.300	13.665	6,8
17	Freyer-See	22	8	1.346.400	1.566	0,8
18	Hardtsee (Freizeitzentrum)	45	16	5.698.400	6.630	3,3
19	Hardtsee-Bruhrain	69,7	32	17.516.800	20.380	10,2
20	Heidesee	16,8	33	4.123.350	4.797	2,4
21	Lusshardtsee	34,2	18	4.712.400	5.483	2,7
22	Sieben-Erlen-See	11,4	27	2.226.150	2.590	1,3



### 3 Mögliche rechtliche und technische Hemmnisse der Umsetzung

Das größte Hemmnis der thermischen Oberflächenwassernutzung in Deutschland besteht darin, dass weder auf Bundes-, noch auf Landesebene, einschlägige Richtlinien oder Vorgaben existieren. Deshalb fehlen wichtige Anforderungen wie z.B. zulässige Temperaturänderungen oder notwendige Voruntersuchungen, bzw. begleitende Untersuchungen im Projektablauf, an denen sich die Planer und auch die Behörden orientieren könnten. Hierbei könnte man sich jedoch an den Leitfäden anderer Länder orientieren, die bereits mehr Erfahrung mit dieser Thematik sammeln konnten. In der Schweiz wurden bereits mehrere Großprojekte, bei denen die thermische Energie eines Oberflächengewässers genutzt wird, realisiert. Eines der größten Projekte hierbei ist der „Seewasserverbund Zürichsee“, der 2003 bereits begonnen hat die ersten Quartiere in Betrieb zu nehmen<sup>[12]</sup>. Insgesamt werden über die Seewassernutzung pro Jahr ein Wärmebedarf von 33.000 MWh und ein Kältebedarf von 6.900 MWh abgedeckt<sup>[5][12]</sup>. Durch die vorherrschenden Richtlinien in der Schweiz (<sup>[4][1][2][4]</sup>) ist bei der Auslegung solcher Systeme eine gewisse Planungssicherheit gegeben. Z.B. darf die Erwärmung des Gewässers gegenüber dem unbeeinflussten Zustand höchstens 3°C, in Forellenregionen sogar nur 1,5°C, betragen. Außerdem darf die Wassertemperatur einen Wert von 25°C nicht überschreiten. In den Niederlanden sind sogar Temperaturänderungen zum ungestörten Zustand von 5°C erlaubt<sup>[11]</sup>. Anhand von Umwelt- und Anlagenmonitoring am Genfer See sowie Untersuchungen der Eawag am Züricher See konnte gezeigt werden, dass die thermische Nutzung von Oberflächengewässern keinen negativen Einfluss auf das Ökosystem des Sees hat, sich im Gegenteil sogar positiv auf die Zirkulation des Sees auswirken kann<sup>[3][6][12]</sup>. Diese Untersuchungen wurden jedoch nur an sehr großen Seen durchgeführt für die auch limnologische Untersuchungen durchgeführt wurden. Für kleinere Projekte müssten Kriterien entwickelt werden, wann eine negative Beeinflussung ausgeschlossen werden kann, damit eine technische Umsetzung nicht an Genehmigungshemmnissen und Planungsunsicherheiten scheitert. Vereinfachte Richtlinien sind auch für die Verwaltung bzw. zuständigen Behörden erforderlich und nötig, um eine Vereinheitlichung im Verwaltungsablauf sicher zu stellen.

Aus technischer Sicht gibt es kaum große Hemmnisse. Es ist im Voraus jedoch abzuklären, ob der Einsatz von Wasser-Glykol als Wärmeträgermedium gestattet

ist und ob die Temperaturgrenzen für den Betrieb der Wärmepumpe eingehalten werden können. Bei offenen Systemen ist zudem ein geeignetes Verfahren zur Filterung und Reinigung vorzusehen.

Felldorf, 20.07.2022



---

Vincent Voßhenrich  
(B.Sc. Applied & Environmental  
Geoscience)



---

Kathrin Singer  
(M.Sc. Applied & Environmental  
Geoscience)



---

Prof. Dr. Simone Walker-Hertkorn  
(Dipl.-Geol.)