

Kurzfassung zur Forschungs Kooperation „Kastanienallee – Seewasserwärme“

Steve Borchardt, M.Sc. und Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Veranlassung

Seen und Fließgewässer sind natürliche Wärmespeicher, die im Sommerhalbjahr Wärme von der Atmosphäre aufnehmen und im Winter wieder abgeben. Durch den verzögerten Wärmeaustausch reagiert die Wassertemperatur saisonal und im Tagesverlauf gedämpfter auf meteorologische Schwankungen als die stark variierende Umgebungstemperatur. Aufgrund ihrer energetischen Eigenschaften ist zu erwarten, dass zukünftig Oberflächengewässer als erneuerbare, saubere und lokale Wärmequelle (= Heizen) und Wärmesenke (= Kühlen) stärker als bisher genutzt werden.

Am nördlichen Innenstadtrand von Darmstadt ist ein Wohnquartier mit einer Wärmeversorgung über einen zentral gelegenen See geplant. Dazu soll im See eine Wärmeentnahme installiert werden, welche die im Seewasser gespeicherte Umweltwärme an ein kaltes Nahwärmenetz abgibt. Das kalte Nahwärmenetz transportiert die Umweltwärme zu den Wohngebäuden, wo Wärmepumpen den Wärmebedarf dezentral decken.

Projektgebiet

Im Norden Darmstadts wurden im frühen 19. Jahrhundert Ton und Lehm abgebaut und vor Ort in einer Ziegelei weiterverarbeitet. Durch den Materialaushub entstanden Gruben, die sich vom Karlshof bis zum Untersuchungsgebiet Kastanienallee ausdehnten. Nach Beendigung des Abbaus füllten sich die Gruben entweder mit Grund- und Niederschlagswasser oder wurden verfüllt. Vier dieser Gruben existieren noch heute und wurden als künstliche Gewässer kultiviert. Mit dem Moorteich, Maschinenteich und Müllersteich liegen drei dieser vier Abgrabungsseen im Bürgerpark Nord, während sich der vierte Abgrabungssee „Teich ohne Namen“ auf dem Grundstück des geplanten Wohnquartiers befindet. Im Vergleich zu den anderen Seen im Stadtgebiet weist der „Teich ohne Namen“ mit 0,57 ha die geringste Wasserfläche und nach der Grube Prinz von Hessen mit 4,6 m die größte mittlere Wassertiefe auf. Durch die maximale Wassertiefe von etwa 9,5 m bewirkt der Wind nur in der obersten Wasserschicht eine ganzjährige Durchmischung. In den unteren Wasserschichten stellt sich dagegen eine stabile Temperaturschichtung ein, die jeweils im Frühjahr und Spätherbst im gesamten Wasservolumen umgewälzt wird. Durch die zentrale Lage im Wohnquartier und der stabilen Temperaturschichtung hat die geplante Wärmeversorgung ein Alleinstellungsmerkmal über das Stadtgebiet hinaus.

Auftrag an die TU Darmstadt

Das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik der Technischen Universität Darmstadt untersucht auf Basis von Messungen und Modellierungen, ob der See den Wärmebedarf des Wohnquartiers nachhaltig decken kann. Dies erfordert eine Bilanzierung des Wärmeinhalts für das Seevolumen von etwa 26.500 m³ und ob eine ausreichende thermische Regeneration des Sees gegeben ist. Ergänzend werden die Auswirkungen der erwarteten Klimaänderung auf den See betrachtet und wie diese bei der zukünftigen Nutzung des Sees zu berücksichtigen sind.

Durchgeführte Messungen und verwendete Datengrundlagen

Aus verschiedenen, messtechnisch erfassbaren Parametern können der seeseitige Wärmeinhalt für das geplante Wohnquartier als auch Maßnahmen zur Verbesserung des Sauerstoffgehalts im See abgeleitet werden. Darüber hinaus stellt der See zukünftig ein

quartiersbezogenes Naherholungsgebiet für die Anwohner dar, wozu der aktuelle ökologische Zustand mindestens zu erhalten ist. Daraus ergibt sich die Motivation, vor, während und nach der Errichtung des Wohnquartiers Messdaten zu erheben und zu bewerten.

Die Projektgesellschaft erfasst im See seit Dezember 2018 mit einjähriger Unterbrechung die Temperaturen in verschiedenen Wassertiefen und seit 2020 zudem in den oberen Wasserschichten den Sauerstoffgehalt. Für die Klassifizierung und die Wärmebilanzierung des Sees ist das vertikale Temperaturprofil wesentlich, da die Analyse der Zeitreihen Aussagen ermöglichen,

- ob eine stabile sommerliche Temperaturschichtung vorliegt,
- wann eine vollständige Durchmischung des Wasservolumens stattfindet und
- wieviel Wärme im Wasservolumen gespeichert ist.

Darüber hinaus dient das Temperaturprofil der Kalibrierung eines numerischen Seemodells zur Wärmebilanzierung. Um die bestehende Messdatenerfassung auf Plausibilität zu prüfen und den See zu klassifizieren, erfolgten durch das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

- Aufnahmen vertikaler Temperaturprofile,
- Wasserprobenahmen zur Bestimmung des Calcium- und Phosphatgehalts,
- Messungen der Sichttiefe im See und
- eine simultane vierwöchige Kurzzeitmessung des Ruhewasserspiegels und der Wassertemperatur in zwei Grundwassermessstellen im Nahbereich des Sees.

Mit Hilfe der Messdaten und weiteren meteorologischen sowie hydrogeologischen Eingangsdaten konnte ein numerisches Seemodell (GENERAL LAKE MODEL) mit guter Qualität kalibriert - also auf die Ist-Situation - eingestellt werden. Eine Validierung (Prüfung) bestätigte für das GENERAL LAKE MODEL eine hohe Aussagekraft durch eine gute Übereinstimmung der Modellergebnisse mit Messdaten, welche nicht zur Kalibrierung verwendet wurden (**Abbildung 1**).

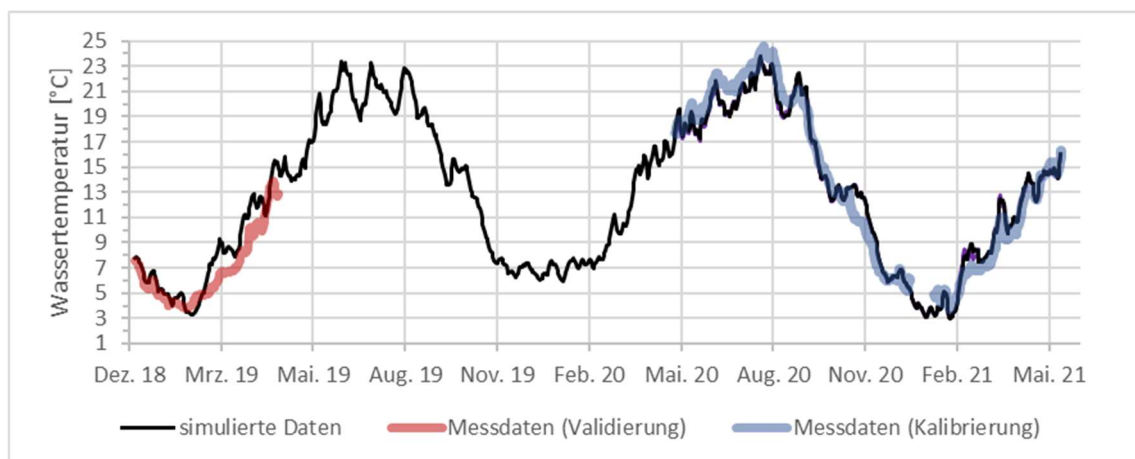


Abbildung 1: Tagesmittel der gemessenen Gesamttemperatur im See für die Modellkalibrierung und -validierung sowie simulierte Gesamttemperatur im GENERAL LAKE MODEL. Die Gesamttemperatur ist aus den Wassertemperaturen in fünf verschiedenen Wassertiefen gebildet und über das Wasservolumen gewichtet.

Mit dem kalibrierten GENERAL LAKE MODEL wurden Wärmebilanzierungen des Sees für den natürlichen Zustand und für den gestörten Zustand mit der geplanten Wärmeentnahme erstellt. Zur Simulation der Wärmeentnahme wurde dem modellierten See Wasser in einer Wassertiefe von 4,5 m oder 6,5 m „entnommen“ und anschließend mit einer niedrigeren Temperatur „zurückgegeben“. Je mehr Wärme im Modell vom Seewasser an das kalte Nahwärmenetz „abgegeben“ wird, desto größer ist die Temperaturdifferenz zwischen der Entnahme- und Rückgabetemperatur. Diese Temperaturdifferenz als auch die erforderliche Wasserentnahmemenge wurden gemäß Berechnungsergebnissen der Wärmebedarfs-ermittlung für das Quartier im Modell eingestellt.

Die erwarteten Klimaänderungen auf den See wurden im GENERAL LAKE MODEL mit einem moderaten Strahlungsantrieb von $4,5 \text{ W/m}^2$ für den Zeitraum 1971-2070 projiziert. Dieses Emissionsszenario *RCP4.5* bildet die Klimaänderungen ab, die zukünftig mindestens zu erwarten sind. Als Eingangsdaten für das GENERAL LAKE MODEL diente ein Ensemble aus sechs Klimaprojektionen des Deutschen Wetterdienstes, welche die unterschiedlichen möglichen Zustände des zukünftigen Klimas für das betrachtete Emissionsszenario beschreiben. Zunächst wurde geprüft, wie zuverlässig die projizierten Wassertemperaturen die simulierten Wassertemperaturen der meteorologischen Beobachtungsdaten repräsentieren. Abschließend wurden die mit den Simulationen prognostizierten Änderungen der Wassertemperatur bewertet.

Ergebnisse: IST-Zustand des „Teich ohne Namen“

Der „Teich ohne Namen“ wird durch seine Entstehung als Abgrabungssee den anthropogen entstandenen Seen zugeordnet. Als Kleinsee mit $0,57 \text{ ha}$ Wasserfläche und ohne oberirdischen Zu- und Abfluss ist der Wasseraustausch zwischen dem See und dem Grundwasser von besonderer Bedeutung. Die Messdaten deuten darauf hin, dass der Grundwasserzuströmung alleine nicht ausreicht, um eine komplette Durchmischung des Seewasservolumens zu bewirken. Die gemessenen Wassertemperaturen bestätigen für den Sommer eine stabile Temperaturschichtung.

Die Auswertung der Probenahme zeigt, dass der mittlere Calciumgehalt im Seewasser auf ein kalkreiches unterirdisches Einzugsgebiet schließen lässt. Durch das relativ kleine oberirdische Einzugsgebiet von etwa $2,76 \text{ ha}$ erfolgt der oberirdische Stoffeintrag in den See vorwiegend durch den Gewässerrand und hat daher einen geringen Einfluss auf den Stoff- und Wasserhaushalt des Sees (**Abbildung 2**).

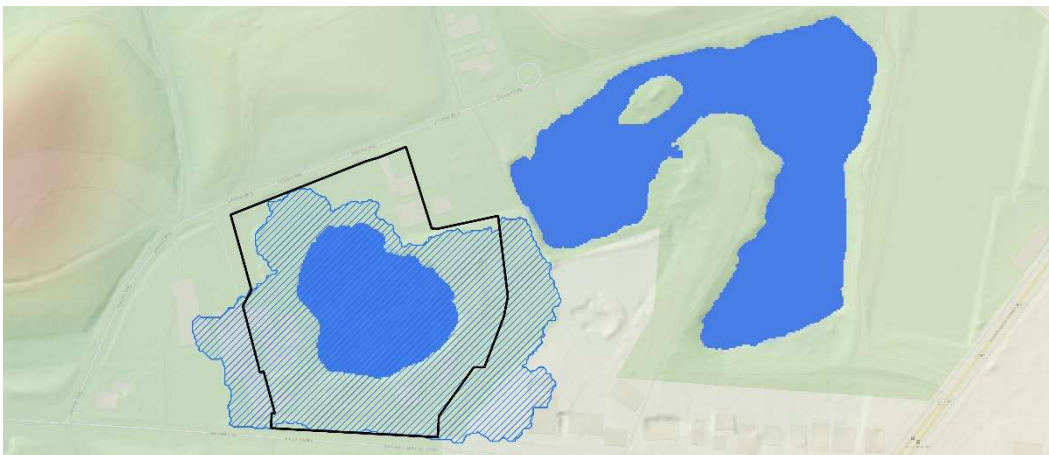


Abbildung 2: Oberirdisches Einzugsgebiet des untersuchten See (blaue Schraffur) und das Projektgebiet (schwarze Volllinie)

Ergebnisse: Simulierte Wärmeentnahme aus dem „Teich ohne Namen“

Die simulierten Wärmeentnahmen zeigen, dass der See den Wärmebedarf des Wohnquartiers alleine decken kann und als natürlicher Wärmespeicher über ein ausreichendes thermisches Regenerationsvermögen verfügt (**Abbildung 3**).

Durch die Wärmeentnahme wird mit dem Modell gegenüber dem Ist-Zustand im Jahresmittel eine Änderung der Gesamttemperatur von etwa $-0,7\text{ K}$ prognostiziert, was noch innerhalb der natürlichen Schwankungen liegt. Auch das Durchmischungsverhalten des Wasservolumens wird durch die Wärmeentnahme gemäß den Simulationsergebnissen *nicht signifikant*¹ beeinflusst. In Abhängigkeit der simulierten Entnahmetiefe werden bei der Wärmeentnahme die größten temporären Temperaturänderungen entweder im Herbst mit $-1,3\text{ K}$ oder im Sommer mit $-1,9\text{ K}$ erwartet.

Fazit: Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Art der Wärmeentnahme und die Wahl der Entnahmetiefe die Temperaturänderungen im See *nicht signifikant*¹ beeinflusst werden. Abweichend zu den simulierten Wärmeentnahmen sieht die aktuelle Projektplanung vor, nicht den gesamten Wärmebedarf ausschließlich aus dem See zu entnehmen, sondern auch durch weitere Wärmequellen im kalten Nahwärmenetz zu decken. Daher wird das anvisierte Verfahren der umweltschonenden Energieversorgung des geplanten Wohnquartiers als realisierbar angesehen.

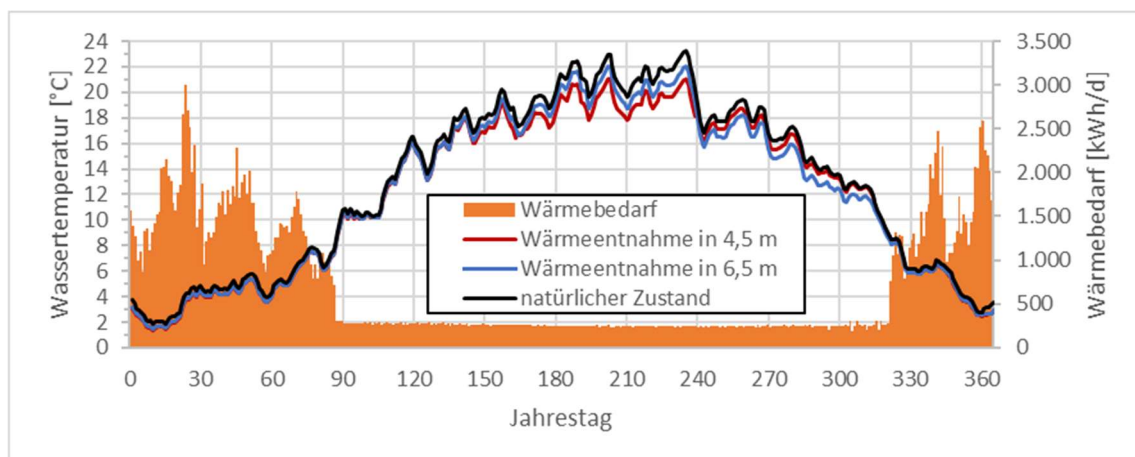


Abbildung 3: Jahresganglinie des Wärmebedarfs und der Gesamttemperatur für den natürlichen Zustand ohne Wärmeentnahme und gestörten Zustand mit Wärmeentnahme in verschiedenen Tiefen

Ergebnisse: Berücksichtigung der Klimaveränderung

Zum Referenzzustand (1971-2000) zeigt das Gegenwartsklima (1991-2020) gemäß den Simulationsergebnissen bereits eine Temperaturzunahme des Seewassers von $0,4\text{ K}$. Diese Temperaturzunahme liegt innerhalb der erfassten natürlichen Schwankungen und kann daher nicht zuverlässig auf eine Klimaveränderung zurückgeführt werden (**Abbildung 4**). Für die nahe (2021-2050) und die mittlere Zukunft (2041-2070) prognostiziert das Modell für das Seewasser Temperaturzunahmen von $1,1\text{ K} \pm 0,3\text{ K}$ bis $1,5\text{ K} \pm 0,35\text{ K}$.

Fazit: Die Ergebnisse der Klimaprojektionen zeigen, dass der Einfluss der Wärmeentnahme die Temperaturen im „Teich ohne Namen“ künftig weniger beeinflussen wird als die zu erwartenden Klimaänderungen. Auch wird der Wärmebedarf durch die Klimaän-

¹ „Nicht signifikant“ bedeutet, dass die im Modell ermittelten Änderungen noch innerhalb der Schwankungsbereiche liegen, welche für den Ist-Zustand ermittelt wurden.

derungen zukünftig abnehmen, was sich auch auf die Wärmeentnahme aus dem See auswirken wird. Durch die Wärmeentnahme besteht zudem eine Chance, die Klimaänderungen auf den „Teich ohne Namen“ teilweise abzuschwächen und den Temperaturstress der aquatischen Lebewesen zu verringern.

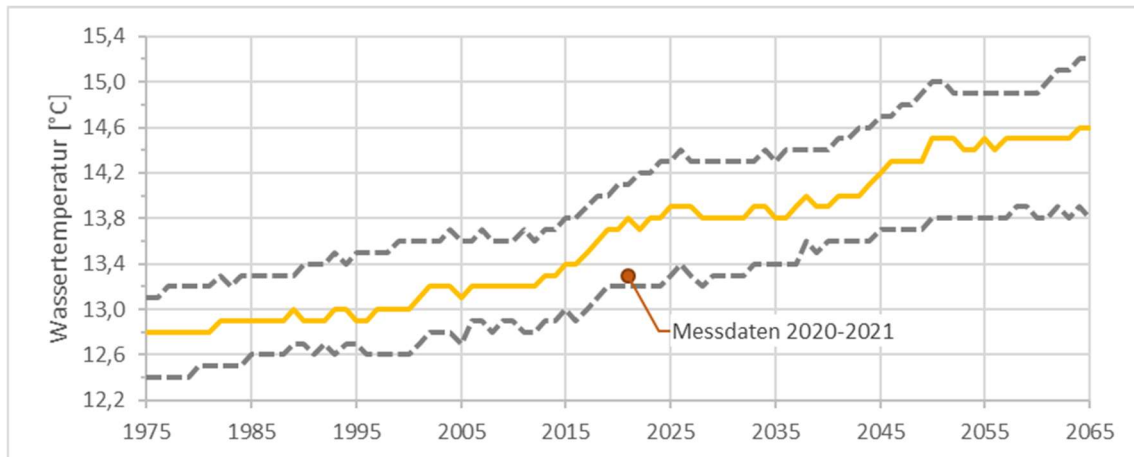


Abbildung 4: Ensemblemedian der projizierten Gesamttemperaturen als 10-jähriges gleitendes Mittel (gelbe Volllinie) und der Vertrauensbereich (graue Strichlinie). Der Vertrauensbereich enthält die Bandbreite der wahrscheinlichen Klimaänderungen und wird von 2/3 der verwendeten Klimaprojektionen abgebildet.

Eine ausführliche Darlegung, Dokumentation und Beschreibung aller hier in Kurzform dargestellten Untersuchungsschritte, Messdaten, Analysen und Ergebnisse sind den vom Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik der Technischen Universität Darmstadt angefertigten Berichten oder in konzentrierter Form der technisch-wissenschaftlichen Kurzfassung zu entnehmen.