

Grundlagen und Leitlinien für eine ökologisch verträgliche Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung

**Empfehlungen zu ökologischen Anforderungen
für Fließgewässer und Seen für den behördlichen Vollzug**

LAWA – LFP 2023, Projekt O 5.23

Dieter Leßmann (BTU) & Ursula Riedmüller (BNÖ)

in Zusammenarbeit mit dem LAWA-EK
„Biologische Bewertung Seen und Interkalibrierung nach WRRL“
und dem LAWA-EK

„Biologische Bewertung Fließgewässer und Interkalibrierung“
sowie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Cottbus / Titisee-Neustadt, 2025

Fachliche Betreuung durch die LAWA

Gudrun Plambeck
Landesamt für Umwelt des Landes Schleswig-Holstein
Abteilung Gewässer
Hamburger Chaussee 25, 24220 Flintbek
Tel.: 04347 704429, E-Mail: gudrun.plambeck@lfu.landsh.de

Dr. Yvonne Sakka
Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz
Direktion – Standort Verden
Bürgermeister-Münchmeyer-Str. 6, 27283 Verden
Tel.: 4231 882181, E-Mail: Yvonne.Sakka@nlwkn.niedersachsen.de

Brandenburgische Technische Universität Cottbus-Senftenberg (BTU)

Dr. Dieter Leßmann
Fachgebiet Gewässerökologie
Postfach 101344, 03013 Cottbus
Tel.: 0355 69-4579, E-Mail: lessmann@b-tu.de
www.b-tu.de/fg-gewaesseroekologie

Büro für Nutzung und Ökologie der Binnengewässer (BNÖ)

Dipl. Biol. Ursula Riedmüller
Erlenweg 13, 79822 Titisee-Neustadt
Tel.: 07651 936664, Fax: 07651 936665, E-Mail: bnoe@gewaesserfragen.de
www.gewaesserfragen.de

Inhalt

Tabellenverzeichnis.....	4
Abbildungsverzeichnis.....	4
Anhangsverzeichnis	4
Kurzfassung	5
1 Einleitung	9
2 Rahmenbedingungen thermischer Gewässernutzungen	11
2.1 Rechtliche Aspekte.....	11
2.2 Summationswirkungen und Nutzungspotenzialermittlung.....	12
2.3 Mischungszonekonzept und Relevanzschwellen.....	14
2.4 Gestaute Fließgewässerabschnitte	16
2.5 Referenztemperatur und Referenzbereichsfestlegung.....	16
2.6 Herausforderungen durch den jahres- und tageszeitenabhängigen Betrieb von Gewässerwärmepumpen.....	17
3 Gewässerökologische Anforderungen an die thermische Nutzung zur Wärmege- winnung	19
3.1 Einsatzkriterien und Anforderungen an die Wärmepumpenanlage	19
3.2 Ergänzende Anforderungen an die Nutzung von Fließgewässern	23
3.2.1 Anforderungen an den Standort.....	23
3.2.2 Gewässerseitige Anforderungen.....	26
3.2.3 Monitoringanforderungen.....	32
3.3 Ergänzende Anforderungen an die Nutzung von Seen.....	34
3.3.1 Anforderungen an den Standort.....	34
3.3.2 Gewässerseitige Anforderungen.....	36
3.3.3 Monitoringanforderungen.....	41
4 Anforderungen an die kombinierte thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmege- winnung und zum Kühlen.....	42
5 Empfehlungen für die bei der Beantragung von thermischen Gewässernutzungen zur Wärmege- winnung zu berücksichtigenden Unterlagen	44
5.1 Technische Unterlagen	44
5.2 Gewässerbezogene Unterlagen	44
Glossar.....	46
Literatur	49
Anhang.....	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Empfehlungen für Anforderungen an die Wärmepumpenanlage für die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung.....	21
Tabelle 2: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Fließgewässern – Anforderungen an den Standort.....	25
Tabelle 3: Empfehlung gewässerökologisch verträglicher Anforderungswerte für Temperaturverminderungen und die zusätzlich nicht zu unterschreitende Mindesttemperatur durch die thermische Gewässernutzung zur Wärmegegewinnung außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung in Fließgewässern entsprechend der längszonalen Gliederung nach Fischgemeinschaften.....	28
Tabelle 4: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Fließgewässern – gewässerseitige Anforderungen.....	30
Tabelle 5: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Fließgewässern – Monitoringanforderungen.....	34
Tabelle 6: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Seen – Anforderungen an den Standort.....	35
Tabelle 7: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Seen – gewässerseitige Anforderungen	40
Tabelle 8: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung aus Seen – Monitoringanforderungen	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellungen zur Abgrenzung des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs von thermisch genutztem Wasser zur Wärmegegewinnung in Fließgewässern	29
---	----

Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Abgrenzung des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bei der Rückleitung von thermisch genutztem Wasser zur Wärmegegewinnung in Seen als Grundlage für hydrodynamische Modellierungen.....	38
---	----

Anhangsverzeichnis

Anhang 1.....	56
Anhang 2.....	57
Anhang 3.....	58
Anhang 4.....	59
Anhang 5.....	60

Kurzfassung

Mit der Forcierung der Energiewende in Deutschland hin zu einer verstärkten Nutzung regenerativer Energien gewinnt auch die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmege-
winnung an Bedeutung. Gewässern wird ein hohes Potenzial zur umweltfreundlichen
Wärmegewinnung zugeschrieben. Aktuell wird ein großes Interesse an der Nutzung von
Gewässern als regenerative Energiequelle festgestellt. Der Einsatz von Gewässerthermie ist
im Hinblick auf die Bedeutung des Klimaschutzes grundsätzlich zu begrüßen.

Bisher liegen in Deutschland nur wenige Erfahrungen bei der Beurteilung und Genehmigung
von Gewässerthermieranlagen vor. Der nachfolgende Leitfaden stellt hierzu erstmals die
fachlichen Grundlagen zusammen und soll die zuständigen Behörden bei ihrer Arbeit und der
Zielstellung einer raschen Durchführung von Genehmigungsverfahren unterstützen. Auf
Grundlage der derzeitigen Erkenntnisse und Auswertungen aus der diesem LFP-Projekt
zugehörigen Studie Riedmüller & Leßmann 2025 wird hiermit ein Rahmen für die
Anforderungen zusammengestellt und aufgezeigt, unter welchen Voraussetzungen bzw. mit
welchen Auflagen eine thermische Nutzung von Gewässern zugelassen werden kann. Der
Leitfaden ergänzt ggf. vorhandene Landesregelungen.

Voraussetzung für die Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung ist, dass die
gesetzlichen Anforderungen an den Gewässerschutz eingehalten werden. Dabei muss eine
Übernutzung ausgeschlossen werden, und es bedarf u. a. der Festlegung von
Anforderungswerten an maximal zulässige Temperaturveränderungen mit einem räumlichen
und zeitlichen Bezug. Dabei ist auch die kumulative Wirkung benachbarter Anlagen an einem
Gewässer zu berücksichtigen. Zusammen erfordert dies i. d. R. die Ermittlung von
Nutzungspotenzialen für ein Gesamtgewässer (See) bzw. einen Gewässerabschnitt
(Fließgewässer).

Grundsätzlich ist aufgrund der gewässerökologisch größeren Auswirkungen und Anforderun-
gen zu empfehlen, dass der Nutzung von Wärmepotenzialen aus z. B. Kraftwerken und
Kläranlagen oder von Abwasserkanälen sowie von künstlichen und erheblich veränderten
Gewässern Vorrang gegeben werden sollte vor der Nutzung von natürlichen Gewässern. Dies
kann z.B. im Rahmen der Potenzialermittlung oder im Rahmen der Antragskonferenz für ein
konkretes Projekt erfolgen.

Grundsätzlich sind von den zuständigen Behörden die gewässerökologische Verträglichkeit
(§ 6 WHG), die Auswirkungen auf die Bewirtschaftungsziele nach WRRL und ggf. betroffene
weitere Rechtsbereiche (z. B. BNatSchG) zu prüfen. Dabei ist davon auszugehen, dass kein
Verstoß gegen die Bewirtschaftungsziele vorliegt, wenn die maßgeblichen Anforderungen
eingehalten werden.

Es wird empfohlen, für die Beurteilung von Anträgen zur Wärmegewinnung aus Gewässern
auf die nachstehenden, gewässerökologisch basierten Anforderungsempfehlungen zurückzu-
greifen.

Allgemeine Anforderungen

- Die Vorlage des geplanten Wärmeentzugs für die thermische Nutzung des Gewässers
bzw. des Gewässerabschnitts zur Wärmegewinnung sollte auf Basis gewässer-
ökologisch verträglicher Temperaturverminderungen basieren.
- Die Summationswirkung mehrerer Anlagen an einem Gewässer oder Gewässerab-
schnitt auf die Wassertemperatur sollte unter Einhaltung der Anforderungswerte an die
ökologisch maximal verträgliche Temperaturverminderung beachtet werden.

- Zwischen Entnahme und Rückleitung sollte eine maximale Temperaturspreizung von 5 K eingehalten werden. Bei einer höheren Temperaturspreizung sollte sichergestellt werden, dass eine unmittelbare Einmischung an der Rückleitung erfolgt, so dass keine schädlichen Einflüsse auf die Biozönose zu befürchten sind und die Anforderungen an ökologisch verträgliche Temperaturverminderungen eingehalten werden.
- Bei Anlagenbetrieb sollte eine maximale Temperaturänderungsrate des eingeleiteten Wassers von 1 K/h eingehalten werden, oder es sollte der Nachweis erbracht werden, dass der Anlagenbetrieb nicht zu negativen Auswirkungen bei der Gewässerbewertung nach WRRL führt.
- Gewässerkategorie-spezifische Anforderungswerte für Temperaturverminderungen außerhalb eines einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung im Vergleich mit einer Referenzstelle sollten eingehalten werden (s. Abbildung 1 für Fließgewässer und Abbildung 2 für Seen).
- Der bestmögliche Schutz von Organismen, insbesondere Fischen und Neunaugen sollte an der Wasserentnahme- und der Rückleitungsstelle gewährleistet sein.
- Das Gewässer sollte vor Verunreinigungen bzw. Stoffeinträgen aus der Anlage geschützt sein.
- Der Eingriff in das Gewässer mit seinen Uferbereichen bzw. in Natur und Landschaft sollte u. a. durch die Prüfung der Möglichkeiten zur Bündelung von Anlagen minimiert werden.
- Insbesondere für ökologisch sensible Bereiche (natürliche und naturnahe Gewässerbereiche, Litoral von Seen, potenzielle Fischlaichplätze etc.) sollten aussagekräftige Daten zum Ist-Zustand des Gewässers vorliegen.

Ergänzende Anforderungen bei Fließgewässern

- Die Wärmenutzung sollte auf Gewässer mit einem MNQ > 500 L/s und einer Mindestwassertiefe von > 20 cm zur Zeit der beabsichtigten Wasserentnahme fokussiert werden, um Projekte auf größere Gewässer zu lenken und die oft sensiblen Gewässerzönosen kleinerer Gewässer zu schützen.
- Eine Ausleitungsstrecke¹ sollte vermieden oder andernfalls die Anforderungen an eine ökologische Mindestwasserführung (§ 33 WHG)² eingehalten werden.
- Die Anforderungswerte für Temperaturverminderungen von maximal 1 bis 2 K (nach Einzelfallprüfung im Potamal im Sommer ggf. bis zu 3 K) sollten außerhalb eines einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs (Abbildung 1) bzw. nach vollständiger Durchmischung in Abhängigkeit von der Fischgemeinschaft von der Gesamtheit der Anlagen in einem Gewässerabschnitt im Vergleich mit einer Referenzstelle eingehalten werden (s. nachfolgende Tabelle).
- Der Abstand zwischen der Einleitung abgekühlten Wassers und dem Bereich, in dem die Anforderungswerte der zulässigen Temperaturveränderung ggf. durch baulich-technische Maßnahmen eingehalten werden müssen, sollte möglichst gering gehalten werden (i. d. R. doppelte Gewässerbreite unter MNQ-Bedingungen oder des gewässerindividuell festgelegten Bemessungsdurchflusses). In langsam fließenden Gewässerabschnitten mit nur geringer Turbulenz kann ggf. eine Ausdehnung des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs auf die zehnfache Gewässerbreite nach Prüfung als ökologisch verträglich erachtet werden (Abbildung 1).

¹ Gewässerabschnitt, in dem durch die thermische Nutzung die Wasserführung zwischen Entnahme und Rückleitung reduziert wird.

² Ggf. Einhaltung der rechtlichen Regelungen für die ökologisch notwendige Mindestwasserführung des jeweiligen Bundeslandes.

- Die Ausbildung von Kältebarrieren sollte ausgeschlossen werden. Hierzu wird empfohlen, dass über den Anforderungswerten für zulässige Temperaturverminderungen liegende Werte auf maximal 1/3 der Gewässerbreite unter MNQ-Bedingungen (zu Entnahmezeiten) oder des gewässerindividuell festgelegten Durchflusses begrenzt werden (Abbildung 1).
- Die thermische Nutzung sollte die Wassertemperaturen außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung auch unter Einhaltung der Anforderungswerte für die maximale Temperaturverminderung nicht unter 3°C sinken lassen.
- Zur Sicherstellung einer möglichst schnellen Durchmischung sollte die Einleitung abgekühlten Wassers oberflächennah und/oder unter Einsatz technischer Maßnahmen erfolgen, die eine einleitungсна Durchmischung fördern.

Fischgemeinschaft	Sa-ER	Sa-MR	Sa-HR	Cyp-R	EP	MP	HP
Minimalwerte [°C]							
sehr guter und guter Zustand / höchstes und gutes ökologisches Potenzial (Anwendung nur zur Regelung von Kälteeinleitungen → keine Eignung für ACP-Bewertung)							
T _{min}	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
Temperaturverminderung [ΔT in K]							
sehr guter Zustand / höchstes ökologisches Potenzial							
ganzjährig	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
guter Zustand / gutes ökologisches Potenzial							
Sommer (Apr-Nov)	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Winter (Dez-Mär)	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Sa: Salmoniden-geprägt, ER/MR/HR = Epi/Meta/Hypo-Rhithral, Cyp: Cypriniden-geprägt, EP/MP/HP: Epi/Meta/Hypo-Potamal							

Empfehlung für Anforderungswerte hinsichtlich Temperaturverminderungen durch die thermische Nutzung von Fließgewässern zur Wärmegewinnung entlang des nach Fischgemeinschaften gegliederten Fließgewässerverlaufs außerhalb eines festgelegten einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung. Die Minimalwerte sollten durch die thermische Nutzung auch unter Einhaltung der Anforderungswerte für die maximale Temperaturverminderung nicht unterschritten werden. Die Temperaturverminderung bezieht sich auf die Differenz zwischen einer Referenzstelle oberhalb der Gewässerthermieanlage und der Gewässertemperatur außerhalb des festgelegten einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs (Abbildung 1) bzw. nach vollständiger Durchmischung. Dabei ist auch der kumulative Effekt mehrerer Einleiter in ein Gewässer bzw. in einen Gewässerabschnitt zu berücksichtigen.

Ergänzende Anforderungen bei Seen

- Die maximale Temperaturverminderung sollte in tiefen, eine stabile sommerliche Schichtung ausbildenden Seen im Gesamtwasserkörper oder ggf. in Teilbecken auf 0,2 – 0,5 K in Abhängigkeit von seeindividuellen Charakteristika (Durchmischungsverhalten, Beckenstruktur, ökologischer Zustand, Trophiestatus, ...) begrenzt werden, und in eutrophen, polymiktischen Seen sollte eine Temperaturverminderung im See als Ganzes von 1 K nicht überschritten werden.
- Vom Einflussbereich der thermischen Nutzung zu ökologisch wertvollen Bereichen sollte ein ausreichender Abstand eingehalten werden, und es sollten keine Wasserentnahmen oder -rückleitungen aus bzw. in gesetzlich geschützte Biotope und wertvolle Fischhabitate erfolgen.

- Im Umkreis der Rückleitung sollte in Abhängigkeit von der Seegröße ein einleitungsnaher innerer Mischungsbereich festgelegt werden, außerhalb dessen der Anforderungswert für eine maximale Temperaturdifferenz von 1 K nicht überschritten wird (Abbildung 2).
- In tiefen, eine sommerliche Schichtung ausbildenden Seen sollte eine oberflächennahe Wasserentnahme und -rückleitung bevorzugt werden und die Rückleitung im Bereich des Metalimnions erfolgen. Außerhalb der sommerlichen Schichtungsphase sollte auch eine Wasserentnahme aus tieferen Bereichen unter Beibehaltung der Rückleitungstiefe ermöglicht werden.
- Eine wärmenutzungsbedingte Abkühlung des Sees auf $< 3^{\circ}\text{C}$ sollte auch unter Einhaltung der Anforderungswerte an die maximale Temperaturveränderung vermieden werden.

Im Hinblick auf **kombinierte Nutzungen zur Wärmegewinnung und zur Kühlung** ist für Wärmeeinleitungen auf bestehende gesetzliche Regelungen zu verweisen.

Zur Überwachung der Einhaltung der Vorgaben für die thermische Nutzung sowie zur Beweissicherung sollte eine permanente automatische **Überwachung des Anlagenbetriebs** und der Temperaturen des Entnahme- und Rückleitungswassers mit Wärmezählern vorgesehen werden. Bei größeren Anlagen werden ein erweitertes Temperaturmonitoring des Gewässers sowie ein biologisches Monitoring als erforderlich angesehen.

Im Rahmen der Antragstellung sollte die Erfüllung der Anforderungen durch **Unterlagen und Gutachten** nachgewiesen werden. Größere Anlagen erfordern i. d. R. die Vorlage von Ergebnissen hydrodynamischer bzw. limnophysikalischer Modellierungen zur Ausbreitung des eingeleiteten abgekühlten Wassers im Gewässer und zu den resultierenden Temperaturveränderungen sowie die Vorlage eines gewässerökologischen Gutachtens und / oder Artenschutzgutachtens.

1 Einleitung

Mit der Forcierung der Energiewende in Deutschland hin zu einer verstärkten Nutzung regenerativer Energien gewinnt auch die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmege-
winnung an Bedeutung. Eine wesentliche Voraussetzung für die Genehmigungsfähigkeit von
Anlagen zur thermischen Gewässernutzung ist deren gewässerökologische Verträglichkeit
entsprechend den Bestimmungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG 2000) und der darauf
basierenden nationalen Gesetzgebung, insbesondere der Oberflächengewässerverordnung
(OGewV 2016) sowie naturschutzrechtliche Rahmenbedingungen, beispielsweise der EU-
Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (Natura 2000). Ein Hindernis beim raschen Ausbau der
Gewässerthermie zur Wärmegegewinnung stellt das noch weitgehende Fehlen von Empfeh-
lungen für die behördlichen Genehmigungsverfahren dar (Kammer 2018).

Im Zuge der Energiewende besteht daher für die Nutzung von Gewässern zur Wärmege-
winnung sowohl unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten als auch im Interesse eines
umfassenden Gewässerschutzes der Bedarf, Grundlagen zur Verfügung zu stellen, die den
zuständigen Behörden im Rahmen von Planungs- und Genehmigungsverfahren eine
möglichst einfache und zugleich ausreichend fundierte fachliche Beurteilung gewässerökolo-
gischer Auswirkungen ermöglichen.

Bestehende und bisherige rechtliche Regelungen beinhalten nur konkrete Vorgaben im
Hinblick auf zulässige Temperaturerhöhungen in Fließgewässern (EG 2006, OGewV 2011,
OGewV 2016). Bisher gibt es in Deutschland für Seen nur für den Bodensee eine Richtlinie,
die als Grundlage für die Genehmigungsbehörden Vorgaben für die thermische Nutzung
enthält (IGKB 2023; Bodenseerichtlinien der IGKB von 2005, letzte aktualisierte Fassung von
2023). Nur vereinzelt liegen darüber hinaus andere Empfehlungen für die Bearbeitung von
Anträgen zur thermischen Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung vor (z. B. Berger
2011).

Im Gegensatz zu Deutschland findet die thermische Nutzung von Gewässern in der Schweiz
bereits eine intensivere Anwendung. Entsprechend wurden dort umfangreiche Kriterien-
kataloge und Arbeitshilfen sowie Publikationen als Grundlage für die Planung von thermischen
Nutzungen von Flüssen und Seen sowie für die Durchführung von Genehmigungsverfahren
unter Beachtung gewässerökologischer Anforderungen erarbeitet (u. a. Schaffner & Nieder-
berger 2017, Gaudard et al. 2017, AWA Bern 2018, Gaudard & Schmid 2019, Gaudard et al.
2019, eawag 2022, AWEL Zürich o.J.). Die in der Schweiz geltenden Regelungen dienten bei
der Erstellung der vorliegenden Handlungsanleitung als Anregung.

Die vorliegenden Empfehlungen wurden auf der Basis des derzeitigen Wissensstands zu den
Auswirkungen thermischer Veränderungen in Gewässern erstellt (s. Riedmüller & Leßmann
2025) und sollen den für die Bearbeitung von Anträgen auf gewässerthermische Nutzungen
zur Wärmegegewinnung zuständigen Behörden als Hilfe im Genehmigungsverfahren dienen.
Dazu wurden gewässerökologische Mindestanforderungen formuliert, die es ermöglichen
sollen, auch bei der thermischen Nutzung von Gewässern zur Wärmegegewinnung die Anforde-
rungen der EG-WRRL (2000) und die daraus resultierenden nationalen gesetzlichen Vorgaben
zu erfüllen. Zu beachten sind insbesondere die Bestimmungen im WHG (2009) und in der
OGewV (2016) sowie die Wassergesetze der Länder. Darüber hinaus ist für Eingriffe in
Gewässer einschließlich ihrer Uferbereiche eine Reihe weiterer Gesetze zum Gewässerschutz
relevant (u. a. BNatschG (2009), BArtSchV (2005), Landesfischereigesetze).

Die Vielfalt an Gewässern, wie sie sich auch in den zahlreichen Typen deutscher Gewässer
widerspiegelt (Pottgiesser 2018, Riedmüller et al. 2022), erlaubt dabei nur einen Rahmen der

Mindestanforderungen abzustecken, die für eine ökologisch verträgliche thermische Nutzung von Gewässern eingehalten werden sollten. Letztendlich werden i. d. R. immer detaillierte Einzelfallprüfungen unter der Berücksichtigung standortspezifischer Bedingungen und des vorgesehenen Anlagenbetriebs notwendig sein.

Da großes Interesse an der kombinierten Nutzung seethermischer Anlagen sowohl zur Wärmegewinnung als auch zur Wärmeeinleitung besteht, wurden auch Betrachtungen zur kombinierten thermischen Nutzung von Wasser aus Seen mit aufgenommen (Kap. 4).

Die vorliegenden Empfehlungen betrachten die thermische Nutzung von Gewässern unter gewässerökologischen Gesichtspunkten und stellen keine auf Rechtsnormen basierte Prüfung dieser Art der Nutzung von Gewässern dar.

2 Rahmenbedingungen thermischer Gewässernutzungen

2.1 Rechtliche Aspekte

Die rechtlichen Rahmenbedingungen erfordern eine umfassende Prüfung der Auswirkungen thermischer Nutzungen auf Gewässer sowohl hinsichtlich der lokalen Auswirkungen als auch auf die Bewirtschaftungsziele. Dabei ist davon auszugehen, dass kein Verstoß gegen die **Bewirtschaftungsziele** vorliegt, wenn die lokalen Anforderungen eingehalten werden. Dies betrifft sowohl die Nutzung von Wasser aus Gewässern, das zu Kühlzwecken genutzt wird und damit zu einer Wärmeeinleitung führt, als auch Wasser aus Gewässern, das zur Wärme-gewinnung genutzt wird und damit zu einer Abkühlung führt. Eine **wasserrechtliche Erlaubnis** kann in beiden Fällen nur erteilt werden, wenn die Voraussetzungen gemäß der §§ 12 und 57 WHG unter grundsätzlicher Beachtung von § 27 WHG gegeben sind. Danach dürfen u. a. keine schädlichen Gewässerveränderungen zu erwarten sein und Menge und Schädlichkeit des eingeleiteten Wassers müssen so geringgehalten werden, wie dies nach dem Stand der Technik möglich ist. Dies ist vor dem Hintergrund des Verschlechterungsverbots und des Verbesserungsgebots des ökologischen und chemischen Zustands, der auch die Temperatur einschließt, gemäß EG-WRRL (EG 2000) und ihren darauf basierenden nationalen Rechtsnormen (WHG 2009, OGewV 2016, ...) zu sehen. Die thermische Nutzung von Gewässern ist daher im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial des Gewässers als Ganzes und im Hinblick auf die lokalen Auswirkungen zu betrachten.

Da die Nutzung insbesondere von Fließgewässern zu Kühlzwecken und die daraus resultierenden **Wärmeeinleitungen** bereits seit langem und in größerem Umfang praktizierte Gewässernutzungen darstellen, liegen hierzu nicht nur zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen vor (u. a. Langford 1990, Souchon & Tissot 2012, Kirillin et al. 2013, Vinna et al. 2017), sondern dementsprechend umfangreiche, kontinuierlich weiterentwickelte Regelungen für die Durchführung von Genehmigungsverfahren und zur Beurteilung der Genehmigungsfähigkeit, die eine Minimierung negativer Auswirkungen auf die Gewässerbiozöten zum Ziel haben (u. a. LAWA 1977, LAWA 2012, OGewV 2016, BLfU 2023a, BLfU 2023b). Aus dem Umfang der geplanten thermischen Nutzung lassen sich die notwendigen Prüfschritte ableiten. Für thermische Gewässernutzungen ist keine Vorprüfungspflicht zur Umweltverträglichkeitsprüfung gegeben, da Anlagen zur thermischen Gewässernutzung nicht zu den „UVP-pflichtigen Vorhaben“ gemäß Anlage 1 des Gesetzes über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG 2021) zählen, so dass der Antragsteller nicht zur Erstellung eines Fachbeitrags zur Beurteilungen der Auswirkungen der beantragten thermischen Nutzung herangezogen werden kann. Sofern die empfohlenen Anforderungswerte gemäß Kapitel 3.2.2, Tabelle 3 und Kapitel 3.3.2 für Fließgewässer bzw. Seen an die ökologische Verträglichkeit der thermischen Nutzung im lokalen Bereich an einem Gewässer oder Gewässerabschnitt eingehalten werden, sollte von keinem Verstoß gegen die Bewirtschaftungsziele nach EG-WRRL auszugehen sein, deren Einhaltung nach bundes- und länderrechtlichen Vorschriften zu prüfen und zu dokumentieren ist.

Für eine Reihe größerer Fließgewässer wurden **Wärmelastpläne** und/oder Modelle erstellt, um vorhandene und geplante Wärmebelastungen im Hinblick auf die Auswirkungen auf das Gewässer beurteilen zu können (z. B. für den deutschen Abschnitt des Rheins [ARGE Rhein 1971], Tideelbe [BfSU et al. 2008], Main [HLU 1973, Brahmer & Kaufmann 2007], Neckar [Haag et al. 2005]). Es wird angenommen, dass diese auch bei Wärmeentzug nutzbar sind. Eine rechtliche Verankerung erfolgt ggf. auf Landesebene. Grundsätzlich ist bei der Einleitung

abgekühlten Wassers eine Orientierung an bestehenden Regelungen für Wärmeeinleitungen möglich, wobei jedoch spezifische Anforderungen zu beachten sind, die sich aus den gewässerökologischen Auswirkungen von Temperaturabsenkungen ergeben.

2.2 Summationswirkungen und Nutzungspotenzialermittlung

Bei Genehmigungsverfahren zur thermischen Gewässernutzung müssen **Summationswirkungen** berücksichtigt werden. In Fließgewässern betrifft dies die Wirkung von im Gewässerkontinuum aufeinanderfolgenden Anlagen und in Seen die Gesamtheit der Anlagen, die Wasser aus demselben See nutzen. Um eine Summationswirkung berücksichtigen zu können, sollten von der zuständigen Behörde, soweit verfügbar, Potenzialermittlungen genutzt bzw. für bereits im Gewässer vorhandene Anlagen überschlägig abgeschätzt werden. Bei der Zulassung neuer Anlagen sind die charakteristischen Daten und Nutzungspotenziale bereits genehmigter Anlagen als Grundlage einzubeziehen und bei der Ermittlung der verbleibenden, genehmigungsfähigen Potenziale zu berücksichtigen. Wärmerrelevante Zu- und Abflüsse sind ebenfalls für die Betrachtungen zu nutzen.

Potenzialermittlungen dienen sowohl potenziellen Gewässernutzern als auch dem Gewässerschutz, da sie bereits in der Projektionsphase beide Aspekte bestmöglich in Einklang bringen können. Sie gewährleisten insbesondere im Hinblick auf einen Wärmeentzug durch mehrere Nutzer, dass die ökologischen Auswirkungen von Summationswirkungen beachtet werden können. Sie sind auf der Basis von Modellberechnungen für die Wärmenutzung für Gewässer zu empfehlen, bei denen eine größere Nachfrage z. B. aufgrund vorhandener dichter Besiedlung am Gewässer zu erwarten ist oder bereits Anlagen der Wärmeeinleitung oder -entnahme vorhanden sind.

Mithilfe der Potenzialermittlung lässt sich gewährleisten, dass die Wärmenutzungen in einem ökologisch verträglichen Ausmaß bleiben. Für das Nutzungspotenzial ergeben sich abhängig u. a. von Gewässerkategorie und -typ und ggf. auch kleinräumig innerhalb eines Gewässers Unterschiede. Insbesondere die Gewässergröße hinsichtlich des Durchflusses, Breite und Tiefe bei Fließgewässern sowie des Volumens des thermisch nutzbaren Seewassers stellen entscheidende Variablen dar, die das Nutzungspotenzial definieren. Gerade im Hinblick auf die Ermittlung von Bereichen, in denen eine Summationswirkung aufeinanderfolgender Abkühlungen an Fließgewässern auftritt, sollte im Rahmen der Potenzialfestlegung ermittelt werden, wo sich unterhalb einer Anlage theoretisch wieder eine „Gleichgewichtstemperatur“ (Haag et al. 2023), d.h. eine gegenüber der Umgebung ausgeglichene natürliche Temperatur, entsprechend dem Ist-Zustand ohne Wärmeentzug einstellen würde, um thermisch unbeeinflusste Referenzbereiche festlegen zu können (s. auch Kap. 3).

Für die Nutzung von Gewässern zu Kühlzwecken erstellte Wärmelastrechnungen und **Wärmelastpläne** sind als Pendant zur Wärmenutzung anzusehen. Die Ausführungen in LAWA (2012) zu Kühlwassereinleitungen lassen sich daher im Wesentlichen auch auf die Wärmenutzung von Gewässern übertragen.

„7.4 Bewirtschaftung des Wärmehaushaltes

Eine Kühlwassereinleitung kann nur umfassend beurteilt werden, wenn eine flussgebietsweise bzw. flussabschnittsbezogene Betrachtung aller Wärmeeinleiter (Summenwirkung aller Kühlwassereinleitungen bzw. des Abkühlverhaltens) vorgenommen wird. Auch weit unterhalb liegende Flussabschnitte können durch die Aufwärmung bzw. unvollständige Wiederabkühlung noch betroffen sein.

In diesen Fällen ist eine Gesamtbetrachtung hinsichtlich der zulässigen Aufwärmspannen des

Gewässers vorzunehmen (Summationswirkung). Ist der Abstand zwischen zwei Einleitungen so gering, dass eine ausreichende Abkühlstrecke zur Erreichung des Temperaturlevels, welches vergleichbar ist der nicht beeinträchtigten Temperatur, nicht gegeben, ist die Wärmeverlast der Einleitung des Oberlieggers bei der Bestimmung der verbleibenden zulässigen Aufwärmspanne des Unterlieggers einzubeziehen. ...

Mit den ... beschriebenen Berechnungsmethoden lässt sich der Wärmehaushalt eines Flussgebietes oder Flussabschnittes hinreichend genau beschreiben. Es besteht somit die Möglichkeit, eine summarische Betrachtung aller relevanten Wärmeeinleitungen und ihrer Auswirkungen vorzunehmen. In Tidegewässern sind dabei die Strömungsumkehr und die dadurch eingeschränkte mögliche Aufwärmspanne zu berücksichtigen.

Auf der Grundlage der Berechnung von verschiedenen Lastfällen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Abflussverhältnissen, meteorologischen Bedingungen und Wärmefrachten können die flussgebietsspezifischen Rahmenbedingungen zur Einhaltung der gewässerökologischen Vorgaben ermittelt werden. Das Ergebnis dieser flussgebietsbezogenen Betrachtung ist ein Wärmelastplan.

Als fachliche Beurteilungsgrundlage beschreibt der Wärmelastplan zunächst, auf eine statistisch abgesicherte Datenbasis bzw. auf konkrete Zeitreihen bezogen, die Verhältnisse im Hinblick auf den Wärmehaushalt des unbelasteten und des durch Wärmeeinleitungen belasteten Gewässers. Er bildet so die Grundlage für die Festlegung der Einleitbedingungen für alle relevanten Wärmeeinleitungen eines definierten Flussabschnittes unter Berücksichtigung ihrer Summenwirkung in einer wasserrechtlichen Erlaubnis. Unter Umständen können entsprechende Festlegungen bereits vorweg im Sinne einer Verwaltungsvorschrift oder einer Reinhaltverordnung in den Wärmelastplan integriert werden, z. B. als verbindliche Vorgaben für die in einem definierten Flussabschnitt maximal zulässige Gewässertemperatur, -aufwärmspanne, und –mindestsauerstoffkonzentration, die dann in Genehmigungsverfahren von den zuständigen Behörden zu beachten sind (z. B. Wärmelastplan für die Tideelbe). Ein derartiger Wärmelastplan stellt eine auf den spezifischen Standortverhältnissen und gewässertypischen Lebensgemeinschaften basierende Umsetzung der Anforderungen der jeweiligen Fischgewässerverordnung und der Oberflächengewässerverordnung dar.“

(aus LAWA (2012): Grundlagen für die Beurteilung von Kühlwassereinleitungen in Gewässer)

Sofern keine Nutzungspotenzialermittlung auf Basis von Wärmemodellen vorliegt, kann eine **Abschätzung** behelfsweise auf der Basis eines konservativen Berechnungsansatzes erfolgen, der den komplexen Wärmeaustausch mit der Umgebung des Gewässers unberücksichtigt lässt und somit als „sicher“ im Hinblick auf einen Schutz vor Übernutzung anzusehen ist (s. auch Gaudard et al. 2018). Dazu wird das zur Verfügung stehende Wasservolumen (Seevolumen bzw. Bemessungsdurchfluss [i. d. R. der MNQ]) benötigt. Auf der Basis der spezifischen Wärmekapazität von Wasser (4,19 kJ/(kg K) bzw. 1,16 Wh/(kg K)) lässt sich das aktuelle Potenzial unter Zugrundelegung einer bestimmten Temperaturdifferenz abschätzen, wobei die empfohlenen Anforderungswerte an gewässerökologisch maximal tolerierbare Temperaturverminderungen zu beachten sind (s. Kap. 3.2.2 und Tabelle 3 für Fließgewässer sowie Kap. 3.3.2 für Seen).

Für einen **See** mit einem Volumen von 100 Mio m³ ergibt sich entsprechend bei einer Abkühlung des gesamten Wasserkörpers um 0,25 K ein aktuelles Potenzial zur Wärmegewinnung von ca. 29 GWh. Beispiele für die Ermittlung der Nutzungspotenziale von Seen finden sich u. a. für den Vierwaldstätter See in Wüest & Fink (2014), den Ägerisee in Schmid (2014) und

den Zuger See in Schmid & Drosner (2014).

Bei einem **Fluss** mit einem MNQ von 1 m³/s errechnet sich entsprechend bei einer Abkühlung des Wassers um 1 K ein Wärmepotenzial von rund 37 GWh pro Jahr, was einer thermischen Leistung von rund 4,2 MW entspricht. Eine Wärmepotenzialstudie liegt für Fließgewässer z. B. für Nordrhein-Westfalen vor (www.energieatlas.nrw.de/site/waermestudienrw_ergebnisse); in weiteren Bundesländern werden diese derzeit erstellt.

2.3 Mischungszonenkonzept und Relevanzschwellen

Eine sich grundsätzlich stellende Frage ist, inwieweit Bereiche im Einflussbereich der Rückleitung des abgekühlten Wassers ökologisch vertretbar sind, in denen die Lebensbedingungen hinsichtlich der Temperaturverhältnisse von denen des restlichen Wasserkörpers deutlich abweichen. Da bereits relativ geringe Temperaturunterschiede von wenigen Kelvin sich in der Struktur der Gewässerbiozöten widerspiegeln (u. a. Halle et al. 2014, 2016; s. auch Kap. 2 in Riedmüller & Leßmann 2025), kann einerseits gefordert werden, dass strenge Anforderungswerte bereits am Rückleitungsauslauf einzuhalten sind, was technisch machbar ist. Dies kann z. B. beim Bypass-Betrieb allerdings verbunden sein mit einer geringeren Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs. Andererseits können begrenzte, lokale Mischungsbereiche mit Temperaturdifferenzen, die im Vergleich zum Referenzzustand die empfohlenen Anforderungswerte nur um wenige Kelvin überschreiten, in ihren Auswirkungen auf die dort vorkommende Zönose i. d. R. weder den ökologischen Zustand noch die Ökosystemfunktion des Gesamtgewässers und damit die Bewirtschaftungsziele in Frage stellen, solange es zu keiner Summationswirkung durch mehrere Anlagen an einem Gewässer bzw. im Fließgewässerkontinuum kommt.

Bei größeren Anlagen bzw. bei intensiveren thermischen Nutzungen durch mehrere Anlagen an einem Gewässer bzw. innerhalb eines Gewässerabschnitts ist es daher im Rahmen einer ökonomisch sinnvollen und zugleich ökologisch verträglichen Lösung angebracht, zwei **Mischungszonen (innerer und äußerer Mischungsbereich)** mit unterschiedlichen Anforderungen an die Werte für maximal zulässige Temperaturverminderungen im Bereich der Rückleitung des thermisch genutzten Wassers bei gleichzeitiger Begrenzung der zulässigen Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser festzulegen, um auch den inneren einleitungsnahen Mischungsbereich vor zu starken Temperaturverminderungen zu schützen (s. Kap. 3.2.2, Abbildung 1 für Fließgewässer und Kap. 3.3.2, Abbildung 2 für Seen; vgl. auch Zessner et al. 2004).

Dies bedeutet

- keine Überschreitung einer maximal zulässigen Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser,
- die Abgrenzung eines einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs mit niedrigeren Anforderungen an zulässige Temperaturveränderungen zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser, der jedoch keine wesentliche Funktion im Hinblick auf besonders schützenswerte Habitate und Tier- oder Pflanzenarten erfüllen darf (z. B. Fischlaichplätze, naturnahe Strukturen in einem ansonsten morphologisch degradierten Fließgewässer, ökologisch wertvolle Litoralbereiche von Seen, Wanderkorridor im Querschnitt des Fließgewässers),
- die Sicherstellung von ausreichend bemessenen unbeeinflussten oder nur innerhalb der festgelegten Anforderungswerte für zulässige Temperaturveränderungen bemessenen Gewässerbereichen (äußerer Mischungsbereich) sowie

- die Begrenzung der Temperaturänderungsrate während des Anlagenbetriebs.

Die Möglichkeit der Einhaltung dieser Vorgaben sollte im Zuge der Antragstellung nachgewiesen werden. Dafür stehen bei größeren, leistungsstarken Anlagen diverse **hydrodynamische bzw. limnophysikalische Modelle** zur Verfügung, mit denen die Einleitung von Wasser unterschiedlicher Temperaturen und dessen Einmischung in Gewässer simuliert werden können. Für Seen finden sich Beispiele u. a. in Fink et al. (2014) und Böttger et al. (2021), für Fließgewässer u. a. in Zessner et al. (2004) und Cope et al. (2017).

Bei **Fließgewässern** können ggf. auch allein die Ergebnisse von **Mischungsrechnungen** (Anhang 4) als ausreichend erachtet werden, wenn das thermisch genutzte Wasser nur einen geringen Anteil am Durchfluss (ca. < 10 %, bei anthropogen stark überprägten Gewässern, z. B. künstlichen Gewässer ggf. auch bis zu 25 %) hat und die Mischungsrechnung eine Temperaturverminderung von maximal 1 K bei vollständiger Durchmischung ergibt. Die Strömungsbedingungen am Standort oder die vorgesehenen technischen Maßnahmen zur Einleitung des abgekühlten Wassers sollten zudem eine rasche Vermischung sicherstellen. Die thermische Nutzung ließe sich damit im Rahmen einer Einzelfallprüfung ggf. als „nicht relevant“ einschätzen (s. auch BLfU 2023b). Es sollten dabei MNQ-Bedingungen des Durchflusses, ggf. differenziert nach hydrologischem Winter-MNQ und Sommer-MNQ, zugrunde gelegt werden, wenn nicht andere Vorgaben für die Genehmigung von Einleitungen für das Gewässer vorliegen.

Bei tiefen, eine stabile sommerliche Schichtung ausbildenden **Seen** ist entscheidend, dass sich die limnophysikalischen Eigenschaften des Gewässers nicht zulasten der Gewässerökologie z. B. durch nachteilige Veränderungen der Dauer der Schichtungsperiode oder der Eisbedeckung verändern. Dies könnte insbesondere dann eintreten, wenn eine rechnerische Abschätzung ergibt, dass durch den Wärmeentzug die Temperaturveränderung im Gesamtwasserkörper 0,1 K übersteigt. An der Grenze eines seeindividuell festzulegenden einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs (Abbildung 2) sollte zudem eine Temperaturdifferenz von 0,5 K im Vergleich mit dem Referenzbereich nicht überschritten werden, um eine thermische Seewassernutzung ggf. als „nicht relevant“ einstufen zu können.

Als **technische Maßnahmen** mit hoher Effektivität zur Gewährleistung einer raschen Durchmischung und der Einhaltung von Anforderungswerten ökologisch verträglicher Temperaturveränderungen stehen z. B. Strahlmischer, Diffusoren, hydraulische Mischer und Bypässe zur Verfügung.

Strahlmischer: *An der Einleitungsöffnung ist das Verhältnis von Durchfluss zum Durchmesser der Austrittsöffnung wichtig für den Mischungsprozess (Saravanan et al. 2010). Eine hohe Austrittsgeschwindigkeit gewährleistet eine deutlich schnellere Durchmischung als ein langsam in den Wasserkörper einsickerndes abgekühltes Wasser. Durch die Bemessungshilfe der IGKB wird dies für Seen veranschaulicht (https://www.h2o-online.com/igkb_therm/igkb_therm_help.php) (s. auch Anhang 3).*

Diffusoren: *Insbesondere in Fließgewässern lässt sich durch den Einsatz von Diffusoren eine schnellere Mischung eingeleiteten Wassers mit dem Gewässer erreichen (Sonnenburg 2023).*

Hydraulische Mischer (Anhang 5): *Als besonders effektiv, auch aus wirtschaftlicher Sicht, gelten hydraulische Mischer, die insbesondere in Seen zum Einsatz kommen können (Keller 2010). In Fließgewässern sind von ihrem Einsatz Vorteile insbesondere in Bereichen mit stagnierendem Wasserkörper zu erwarten, wenn sich dadurch der innere Mischungsbereich*

deutlich verkleinern lässt und das Bauwerk kein Hindernis z. B. bei Hochwässern darstellt.

Bypässe: Der Einsatz eines Bypasses innerhalb der Anlage erlaubt es, thermisch genutztes Wasser mit ebenfalls dem Gewässer entnommenem, ungenutztem Wasser bereits vor der Rückleitung ins Gewässer zu mischen und so bereits in der Anlage die Temperaturveränderung zu minimieren. Dadurch kann erforderlichenfalls sogar sichergestellt werden, dass bereits am Rückleitungsauslass die Anforderungswerte der zulässigen Temperaturänderung eingehalten werden, die für den Bereich außerhalb des inneren Mischungsbereichs empfohlen werden.

2.4 Gestaute Fließgewässerabschnitte

Bei Fließgewässern sind in vielen, vor allem größeren Flüssen keine natürlichen Abflussbedingungen gegeben. Es dominieren stauregulierte Gewässerabschnitte mit Phasen hoher Durchflüsse und Phasen stagnierenden Wasserkörpers, in denen das Fließgewässer eher den Charakter einer Kette von Standgewässern als von einem Fließgewässer besitzt. Die thermische Nutzung dieser Bereiche in abflussarmen Zeiträumen stellt wegen des dann nur geringen Wasseraustauschs eine besondere Herausforderung an die technische Umsetzung der thermischen Nutzung vor dem Hintergrund der Einhaltung der empfohlenen Anforderungswerte für die Temperaturveränderung dar. Bei geringen Durchflüssen kann durch die Einleitung abgekühlten Wassers die Ausbildung von Kaltwasserbereichen nicht ausgeschlossen werden. Auch ist die Entstehung von Kurzschlussströmungen zwischen Entnahme und Rücklauf ggf. leicht möglich, die zu einem Summationseffekt mit rascher Überschreitung von Anforderungswerten der zulässigen Temperaturveränderung führen können.

Eine thermische Nutzung von stauregulierten Fließgewässerabschnitten bedarf daher einer eingehenden Prüfung unter Einbeziehung der Empfehlungen für die thermische Nutzung von Seen. Dabei sollte ggf. auch auf Expertenmeinungen und lokale Studien zurückgegriffen werden, um lokale Besonderheiten sowie spezifische ökologische und räumliche Gegebenheiten angemessen berücksichtigen zu können. In stagnierenden Fließgewässerbereichen kommt einer geringen Temperaturspreizung von nur wenigen Kelvin zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser sowie der Nutzung technischer Möglichkeiten (s. Kap. 2.3) zur Gewährleistung einer raschen Durchmischung im Bereich der Rückleitung besondere Bedeutung zu. Ggf. ist für die Rückleitung des abgekühlten Wassers der Bereich unterhalb des Aufstaus vorzuziehen, wenn eine Abfolge von Stau- und Fließbereichen gegeben ist.

Ähnliche Herausforderungen stellen sich in Hafenbecken oder allgemein in Gewässerbuchten mit stagnierenden Bereichen. Wenn die thermische Nutzung dieser Bereiche nicht auszuschließen ist, müssen individuell an den Standort angepasste Lösungen erarbeitet werden, die die Ausbildung ausgedehnter Bereiche verhindern, in denen die Anforderungswerte an ökologisch verträgliche Temperaturveränderungen überschritten werden.

2.5 Referenztemperatur und Referenzbereichsfestlegung

Vor dem Hintergrund der im Zuge der globalen Erwärmung ansteigenden Gewässertemperaturen kann eine begrenzte Abkühlung durch thermische Nutzungen zwar eine teilweise Kompensation des Temperaturanstiegs bewirken und auch zu einer Verbesserung des ökologischen Zustands des Gewässers führen (s. Kap. 6.2 in Riedmüller & Leßmann 2025), doch setzt dies voraus, dass die Abkühlung des thermisch genutzten Sees oder größeren

Fließgewässerbereichs insbesondere in den Sommermonaten permanent und die Abweichung von den aktuellen natürlichen Temperaturverhältnissen eng begrenzt ist, um keinen isolierten Lebensraum zu schaffen. Die Festlegung einer aus der Gewässerhistorie abgeleiteten **Referenztemperatur** kann daher als nicht zielführend angesehen werden (vgl. auch Kap. 6.2.3 in Riedmüller & Leßmann 2025). Als Bewertungsgrundlage können nur die aktuellen natürlichen Temperaturbedingungen im Gewässer dienen.

Größere und damit i. d. R. längere **Fließgewässer** weisen in ihrem Längsverlauf natürliche Temperaturveränderungen auf, die bei der Ermittlung der Referenztemperatur für die thermische Nutzung zu berücksichtigen sind. Dies erfordert die Unterteilung von Fließgewässern in Abschnitte, wobei der Abschnittsbeginn den **Referenzbereich** darstellt (s. auch LAWA 2012). Als Herausforderung kann sich dabei die Abgrenzung der Gewässerabschnitte herausstellen, innerhalb derer der Anforderungswert für die Temperaturdifferenz gegenüber der Referenzstelle am Beginn des Gewässerabschnitts nicht überschritten werden darf. Die Abgrenzung wird i. d. R. nur gewässerindividuell in Abhängigkeit von den hydrologischen und morphologischen Bedingungen und den bereits erfolgten anthropogenen Veränderungen des Gewässers möglich sein. Ein zu definierender Gewässerabschnitt für die thermische Nutzung kann z. B. der Bereich zwischen zwei Wehren sein oder die Abschnitte ober- und unterhalb eines größeren Zuflusses. Auch Wärmeeinleitungen sind als Abschnittsgrenze denkbar.

In **Seen** sind einleitungsferne Messpunkte im Pelagial als Referenzbereiche geeignet, wobei seeinterne Strömungen des abgekühlten Wassers zu beachten sind. Dabei ist die Temperaturverteilung in der gesamten Wassersäule relevant.

2.6 Herausforderungen durch den jahres- und tageszeitenabhängigen Betrieb von Gewässerwärmepumpen

Die mit der thermischen Nutzung zur Wärmeengewinnung verbundene Ausbildung von **Kälteinseln** unterhalb der Rückleitung ist kritisch für das Gewässerökosystem. In diesen Bereichen abweichender thermischer Bedingungen bilden sich Bereiche aus, die in ihren physikalischen Eigenschaften vom restlichen Wasserkörper abweichen. Daraus resultiert potentiell eine andere Struktur der Biozönose und der Ökosystemfunktionen (s. Kap. 2 in Riedmüller & Leßmann 2025).

Ein **kontinuierlicher, gleichmäßiger Betrieb** von Gewässerwärmepumpen ist aus gewässerökologischer Sicht als deutlich günstiger einzuschätzen als ein diskontinuierlicher Betrieb, da sich die Biozönose im Wirkungsbereich des abgekühlten Wassers an die vom Rest des Gewässers abweichenden Bedingungen besser anpassen kann. Als vorteilhaft sind insbesondere Wärmepumpen anzusehen, die neben der Bereitstellung von Wärme für Heizzwecke im Winter der ganzjährigen Warmwasserbereitstellung dienen und dadurch in den Sommermonaten einen Kühlungseffekt auf Gewässer bewirken können. Hierdurch kann u. U. ein Beitrag zur Stabilisierung heimischer Gewässerbiozönosen geleistet werden. Eine sommerliche Abkühlung kann auch die Ausbreitung und Vermehrung von Cyanobakterien verringern, was insbesondere stagnierenden Wasserkörpern zugutekommen würde. Dadurch können sich die Bedingungen für empfindlichere, heimische Arten verbessern, was zu einer besseren gewässerökologischen Bewertung führen kann (s. Kap. 6.5 in Riedmüller & Leßmann 2025).

Die Auswirkungen eines **diskontinuierlichen Anlagenbetriebs** stellen für die Gewässerökologie bei der thermischen Gewässernutzung eine besondere Herausforderung dar. Wird die Wärme vor allem zu Heizzwecken benötigt, hängt die abgerufene Anlagenleistung weitgehend

vom aktuellen Wärmebedarf ab. Dieser fällt nicht nur abhängig von der Jahreszeit sehr unterschiedlich aus und geht im Sommer gegen Null, wenn bei kleineren Anlagen ggf. nur noch Wärme für die Warmwasserbereitstellung benötigt wird, sondern schwankt auch in der Heizperiode während des Tages mit Spitzen in Wohnquartieren in den frühen Morgenstunden und den Abendstunden.

Die Anpassung der Anlagenleistung an den Wärmebedarf hat dabei Veränderungen des Durchflusses und Veränderungen der Temperaturdifferenz zwischen Entnahme und Rückleitung zur Folge. Zur Minimierung von Belastungsschwankungen sollten Auflagen zur Gewährleistung der Einhaltung einer maximal zulässigen Temperaturänderungsrate für die Einleitung festgesetzt werden. Hierfür sollten technischen Lösungen wie z. B. **Wärmespeicher (Pufferspeicher)** zum Einsatz kommen, wobei der Nachweis der Einhaltung der Anforderungswerte vom Antragsteller erbracht werden muss.

Für Gewässer bedeutet dies insgesamt, dass nicht nur keine gleichbleibenden Bedingungen hinsichtlich der Temperaturdifferenz zwischen thermisch unbeeinflusstem Wasserkörper und dem Mischungsbereich mit dem Rückleitungswasser gegeben sind, sondern auch die Ausdehnung des Mischungsbereichs sowie die Bedingungen im Mischungsbereich mit sich ändernden Gewässer- und Anlagendurchflüssen sowie Temperaturdifferenzen Veränderungen unterworfen sind. Dies stellt eine Belastung für die in den Mischungsbereichen siedelnden oder sich aufhaltenden Organismen dar. Daraus resultieren als gewässerökologische Anforderungen an die Nutzung der Gewässerthermie die Forderungen nach einer Minimierung der Ausdehnung des inneren einleitungsnahen Mischungsbereichs, in dem die ökologisch verträglichen Anforderungswerte überschritten werden können, und die Forderung nach einer möglichst geringen Veränderung der natürlichen Temperaturverhältnisse im Gewässer, wozu auch die Begrenzung der zulässigen Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser beiträgt.

3 Gewässerökologische Anforderungen an die thermische Nutzung zur Wärmegewinnung

Bei der Beurteilung einer gewässerökologisch verträglichen Nutzung zur Wärmegewinnung kann zwischen Anforderungen, die an die Wärmepumpenanlage zu stellen sind, Anforderungen, die der Standort erfüllen muss, und Anforderungen, die Veränderungen des Wasserkörpers durch die Nutzung betreffen, unterschieden werden, wobei es bei einzelnen Punkten bei der Zuordnung zu den verschiedenen Anforderungskategorien zu Überschneidungen kommt, von einer Mehrfachzuordnung aber abgesehen wird. Hinzu kommen Anforderungen an die Eigenüberwachung, die im Rahmen einer Einzelfallentscheidung ggf. durch ein den Anlagenbetrieb begleitendes erweitertes Monitoring der Gewässertemperatur und biologischer Qualitätskomponenten ergänzt werden sollte.

Da die Eignung von Gewässern und für die Wärmenutzung vorgesehener Standorte an Gewässern immer auch von spezifischen Charakteristika des Gewässers oder Gewässerabschnitts abhängig ist, kann es sinnvoll sein, hierauf angepasste Anforderungen festzulegen, wie diese z. B. für den Bodensee vorliegen (IGKB 2023). Besondere Beachtung bedarf der Schutz ökologisch wertvoller Habitate. Insbesondere sollten Wasserentnahme und Wiedereinleitung nicht in unter Schutz stehende Biotope und in der Nähe von Habitaten erfolgen, die für Fischpopulationen von Bedeutung sind (z. B. Laich-, Aufzucht- und Jungfischhabitate).

Anforderungen, die die Wärmepumpenanlage betreffen, sind unabhängig davon, ob die Anlage an einem Fließgewässer oder See steht. Bei den Anforderungen, die die Standortbedingungen, das Gewässer und die Überwachung betreffen, ist zwischen den beiden Gewässerkategorien zu differenzieren.

Die Anforderungen sind vor dem Hintergrund des bisher international noch geringen Kenntnisstands zu den gewässerökologischen Auswirkungen des Einsatzes von Wärmepumpen an Gewässern mit der damit verbundenen Abkühlung zu sehen, die vor allem in den Wintermonaten, der Zeit mit dem größten Wärmebedarf, bei bereits niedrigen Wassertemperaturen auf die Gewässerbiozöten einwirkt.

3.1 Einsatzkriterien und Anforderungen an die Wärmepumpenanlage

Grundsätzlich ist zu empfehlen, dass eine thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung nur dann erfolgen sollte, wenn keine anderen wirtschaftlich zu nutzenden Wärmequellen wie erwärmtes Wasser z. B. aus Industriebetrieben, Kläranlagen oder Kraftwerken oder Abwasserkanälen zur Verfügung stehen. Künstliche und erheblich veränderte Gewässer sollten Vorrang vor der Nutzung natürlicher Gewässer erhalten. Stehen für eine Gewässerthermieranlage mehrere Gewässer als potenzielle Wärmelieferanten zur Auswahl, sollte eine Priorisierung auf Basis der ökologischen Wertigkeit des Gewässers erfolgen.

Soweit möglich, sollten eine Bündelung von Anlagen mit gemeinsamen Entnahme- und Rückleitungsstellen für das thermisch genutzte Wasser und Reservekapazitäten für weitere Anschlüsse vorgesehen werden. Optimal ist es, wenn die Anlagen eine Leistung aufweisen, die die Wärmeversorgung zumindest eines größeren Wohnkomplexes oder Quartiers ermöglicht (Tabelle 1, Pkt. 1).

Für die Entnahme des Wassers sind entsprechend dem Stand der Technik Maßnahmen vorzusehen, die den Eintrag von Organismen, insbesondere Fischen und Neunaugen weitestgehend verhindern (Tabelle 1, Pkt. 2).

Im Hinblick auf den Schutz des Gewässers und der darin lebenden Organismen muss ausgeschlossen werden, dass aus der Anlage Stoffe freigesetzt werden können, die zu einer Gewässerverunreinigung oder Gefährdung von Gewässerorganismen führen. Dies betrifft insbesondere auch das ggf. bei der Reinigung von Rohrleitungen und Wärmetauscher anfallende organische Material aus der Beseitigung des Aufwuchses (Tabelle 1, Pkt. 3 und Pkt. 4).

Die Ausdehnung des Bereichs der Rückleitung abgekühlten Wassers, der über den Anforderungswerten liegende Temperaturveränderungen aufweist, d. h. der innere einleitungsnahe Mischungsbereich (s. Kap. 2.3), lässt sich zum einen durch eine Begrenzung der Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser und zum anderen durch technische Maßnahmen bei der Rückleitung (s. Kap. 2.3), die für eine schnelle Durchmischung des Wassers sorgen, gering halten (Tabelle 1, Pkt. 5).

Notwendig ist zudem eine Begrenzung der zeitlichen Veränderung der Wassertemperatur, um Organismen die Möglichkeit zum Verlassen des Bereichs für sie ungünstiger Wassertemperaturen zu geben (Tabelle 1, Pkt. 6).

Tabelle 1: Empfehlungen für Anforderungen an die Wärmepumpenanlage für die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärme Gewinnung

	Anforderungen an die Anlage	Begründung
1	Bereitstellung einer ausreichenden Leistung zur Wärmeversorgung mindestens eines größeren Gebäudekomplexes oder eines Quartiers. Dimensionierung der gewässerseitigen Anlagen sowie Entnahme- und Rückleitungen ggf. so, dass der spätere Anschluss weiterer Nutzer ohne weitere Eingriffe in das Gewässer und seine Uferbereiche möglich ist.	Eine Vielzahl von Kleinanlagen ist zum Schutz der Ufer- und Gewässerstrukturen sowie zur Sicherstellung der Überwachungsmöglichkeit zu vermeiden. Beispielsweise wird für Gewässerthermieranlagen am Bodensee eine Wärmepumpen-Mindestleistung von 200 kW gefordert (IGKB 2023). Mit dieser Leistung können rund 40 Haushalte mit Wärme versorgt werden. Die geforderte Mindestleistung sollte jedoch unter standortspezifischen Gesichtspunkten wie z.B. Gewässergröße, Energiebedarf sowie anderer Nutzungen individuell festgelegt werden.
2	Gewährleistung des Schutzes von Organismen, insbesondere Fischen und Neunaugen durch Festlegungen zur technischen Anlagenausführung und maximalen Ansauggeschwindigkeit.	Die Anlagen sind aufgrund der in den Rohrleitungen auftretenden Fließgeschwindigkeiten und im Bereich des Wärmetauschers als für Fische und andere Organismen potentiell tödliche Falle anzusehen. Fische müssen daher zum einen durch technische Maßnahmen an der Entnahmeeinrichtung vor dem Eintritt in die Anlage zurückgehalten werden und dabei die Möglichkeit haben, der Saugwirkung der Wasserentnahme auszuweichen (Barnhouse 2013). Ggf. sind auch an der Rückleitung Fischschutzmaßnahmen erforderlich. Details zur Gefährdung von Fischen durch

	Anforderungen an die Anlage	Begründung
		Wasserentnahmeanlagen, rechtlichen Grundlagen und zu den Schutzmöglichkeiten sind LUBW (2016) und Keuneke & Massmann (2020) zu entnehmen. Stand der Technik zum Schutz auch von Jungfischen und Fischlarven sind Siebanlagen verschiedener Ausführung (u. a. McMichael et al. 2004, Boys et al. 2013, Mefford et al. 2013, Bretzel et al. 2023), deren Einsatz zu prüfen ist.
3	Einhaltung der Anforderungen des § 62 WHG und der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV) .	Wärmetauscheranlagen mit wassergefährdenden Kältemitteln oder Wärmeträgern sind Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV 2017). Diese Anlagen unterliegen im Bereich der gewerblichen Wirtschaft und öffentlicher Einrichtungen den Anforderungen des § 62 WHG und der Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen (AwSV).
4	Reinigung der Anlage (Rohrleitungen, Wärmetauscher) und / oder Verhinderung der Aufwuchsentwicklung ohne Gewässerbelastung (entsprechend dem Betrieb von Kühlwasseranlagen).	Auf den Innenoberflächen der Rohrleitungen und auf den Wärmetauschern entwickelt sich ein Biofilm. Zudem ist ggf. in stärkerem Umfang insbesondere mit Muschelansiedlungen zu rechnen. Dies betrifft in besonderem Maße invasive Arten wie <i>Dreissena polymorpha</i> und <i>D. rostriformis</i> (IGKB 2019, Karatayev & Burlakova 2022). Die Muschelansiedlung führt zu einer zunehmenden Einschränkung der Durchflusskapazität und erfordert regelmäßige Reinigungen der Anlage. Bereits bei der Anlagenplanung sollten technische Lösungen zur Minimierung der Aufwuchsentwicklung in den Rohrleitungen und der Anlage selbst berücksichtigt werden (Chakraborti et al. 2013), ohne dass dies jedoch zu Beeinträchtigungen im Gewässer führt.
5	Begrenzung der Temperaturspreizung zwischen Entnahme- und Rückleitungswasser in Abhängigkeit von gewässer- und standortspezifischen Charakteristika auf 5 K . In Ausnahmefällen bei einer darüber liegenden Temperaturspreizung Nachweis des Antragstellers, dass gewässerstrukturbedingt und/oder durch baulich-technische Maßnahmen eine unmittelbare Einmischung erfolgt, so dass von keinen schädlichen Einflüsse auf die Gewässerbiozönose	Eine Begrenzung der Temperaturspreizung in der Anlage ist als Maßnahme zur Begrenzung der Temperaturverminderung auch im einleitungsnahen inneren Mischungsbereich notwendig (s. Kap. 2.3). Bereits Temperaturveränderungen von wenigen Kelvin haben Einfluss auf die Struktur von Biozönosen und die Ökosystemfunktionen (s. Kap. 2 in Riedmüller & Leßmann 2025). Im Hinblick auf eine Minimierung gewässerökologischer Veränderungen durch die thermische Nutzung und unter Berücksichtigung technischer Anforderungen beim Einsatz von

	Anforderungen an die Anlage	Begründung
	auszugehen ist.	Gewässerwärmepumpen ist in Abhängigkeit vom natürlichen Mischungsverhalten des Gewässers eine enge Begrenzung der Temperaturspreizung zwischen Wasserentnahme und -rückleitung notwendig, wobei insbesondere bei Temperaturspreizungen > 5 K die Einleitung abgekühlten Wassers i. d. R. mit technischen Maßnahmen zur raschen Durchmischung verbunden werden sollte (Strahlmischer, Diffusoren, hydraulischer Mischer, Bypass) (s. Kap. 2.3).
6	Begrenzung der Temperaturänderungsrate im eingeleiteten Wasser auf maximal 1 K/h bei Anlagenbetrieb oder Nachweis, dass der Anlagenbetrieb nicht zu negativen Auswirkungen im Hinblick auf die Gewässerbewertung nach WRRL führt. Einsatz z. B. von Wärmespeichern (Pufferspeichern), um kurzfristige Temperaturschwankungen im Gewässer zu reduzieren.	Die Rate von 1 K/h dient dem Schutz der Fauna und Flora und entspricht natürlicherweise in Fließgewässern insbesondere im Sommer im Tagesverlauf auftretenden Veränderungsraten der Wassertemperatur (s. Kap. 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025, Laszewski 2018). Motile Organismen haben dadurch ggf. die Möglichkeit, von ihnen bevorzugte Temperaturbereiche aufzusuchen. Die Festlegung einer niedrigen Temperaturänderungsrate ist insbesondere auch zum Schutz der Fischpopulationen notwendig, da Fische auf Temperaturverminderungen in kurzer Zeit besonders sensibel reagieren (Kälteschock) (s. Kap. 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025, Beitinger et al. 2000, Donaldson et al. 2008, Reid et al. 2022). Bei Anlagen, die keinen konstanten Wärmebedarf im Tagesverlauf haben, ist i. d. R. ein Pufferspeicher erforderlich, um die empfohlene maximal zulässige Temperaturänderungsrate einhalten zu können.

3.2 Ergänzende Anforderungen an die Nutzung von Fließgewässern

3.2.1 Anforderungen an den Standort

Um die Anforderungen an die Einhaltung ökologisch verträglicher Temperaturveränderungen einhalten zu können, sollte bekannt sein, wie hoch das Potenzial für die Wärmegewinnung in einem Fließgewässerabschnitt, der zur Wärmegewinnung genutzt werden soll, unter MNQ-Bedingungen oder eines gewässerindividuell festgelegten Durchflusses ist (Tabelle 2, Pkt. 1) (s. Kap. 2.2). Dies erleichtert die Beurteilung, ob sich die vorgesehene Wärmenutzung noch im gewässerökologisch verträglichen Rahmen unter Einhaltung von Anforderungswerten zulässiger Temperaturveränderungen in einer bestimmten Entfernung von der Rückleitung bewegt (s. Kap. 2.3). Zu beachten ist dabei die Summationswirkung aufeinanderfolgender Anlagen (s. Kap.2.2).

Für die Potentialermittlung sollte der MNQ, der als arithmetischer Mittelwert über einen längeren Zeitraum (meist > 30 Jahre) ermittelt wird, auf der Grundlage einer aktuellen Datenreihe verwendet werden, es sei denn, es liegen flusseinzugsgebietsspezifische behördliche Festlegungen vor, die die Verwendung eines gewässerindividuell festgelegten Durchflusses, wie z.B. des NQ (Niedrigwasserabfluss) oder NNQ (Niedrigster Niedrigwasserabfluss), vorschreiben. Zudem kann es aufgrund des jährlichen Abflussregimes sinnvoll sein, einen nach hydrologischem Winter- und Sommerhalbjahr differenzierten MNQ heranzuziehen.

Wenn keine hydrologischen Daten für den Gewässerabschnitt zur Verfügung stehen, der thermisch genutzt werden soll, kann ggf. eine Ermittlung des MNQ durch Interpolation der Werte benachbarter Pegel unter Berücksichtigung der Größe des Einzugsgebiets erfolgen bzw. auf Werte vergleichbarer benachbarter Fließgewässer für eine Abschätzung zurückgegriffen werden.

Die besonderen Bedingungen in stauregulierten Fließgewässerabschnitten werden in Kapitel 2.4 betrachtet. Ggf. ist für diese Bereiche eine jahreszeitlich differenzierte Potenzialermittlung möglich, so dass bei höheren Durchflüssen im hydrologischen Winterhalbjahr der Winter-MNQ zugrunde gelegt werden kann und im hydrologischen Sommerhalbjahr das Volumen des Staubereichs plus eines Aufschlags, der sich aus dem noch vorhandenen Durchfluss ergibt.

Unter der Voraussetzung, dass keine zu stark ausgeprägten anthropogenen Belastungen auftreten, sind unter MNQ-Bedingungen ausreichende Lebensbedingungen für die am Standort siedelnden Organismen gegeben (LAWA 2019, LAWA 2020). Inwieweit eine Nutzung bei Durchflüssen unterhalb des MNQ möglich ist, sollte gewässerindividuell entschieden werden, da sich mit niedrigeren Durchflüssen und ggf. damit verbundenen niedrigeren Wasserständen wesentliche Rahmenbedingungen des Mischungsverhaltens des Gewässers ändern können. Zu beachten ist aber auch, dass ggf. ein begrenzter sommerlicher Wärmeentzug bei niedrigen Wasserständen und hohen Wassertemperaturen der Gewässerbiozönose zugutekommen kann (s. Kap. 6.2.1 in Riedmüller & Leßmann 2025).

Mit steigendem Anteil thermisch veränderten Wassers am Durchfluss ist eine zunehmende Änderung der Habitatbedingungen für die Organismen verbunden. Die Einhaltung der Anforderungswerte an die Ausdehnung des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs und die maximale Temperaturveränderung außerhalb davon sollten mit den eingereichten Antragsunterlagen nachgewiesen werden. Bei Anlagen, die einen Anteil von ca. > 10 % des MNQ aus dem Gewässer entnehmen oder mehr als ca. 30 % des thermischen Potenzials (bzw. des Restpotenzials bei mehreren Anlagen in einem Gewässerabschnitt) nutzen wollen oder bei denen eine Mischungsrechnung eine Temperaturverminderung von mehr als 1 K nach

vollständiger Durchmischung ergibt, sollte die Einhaltung der gestellten Anforderungen durch eine hydrodynamische Modellierung belegt werden (s. auch Kap. 2.3). Für die Modellierung stehen zahlreiche etablierte Modelle zur Verfügung. Ggf. kann unter „einfachen“ Bedingungen in wenig strukturierten Fließgewässern auf die Berechnungsansätze von Jirka et al. (2003, 2004) zur horizontalen und vertikalen Durchmischung bei Einleitungen aus Punktquellen zurückgegriffen werden. Grundlagen zur Durchmischung in Fließgewässern unterhalb von Einleitungen sind u. a. Rutherford (1994) und Zessner et al. (2004) zu entnehmen. Zu verweisen ist auch auf LAWA (2012).

Die thermische Nutzung zur Wärmegewinnung ist immer auch vor dem Hintergrund des aktuellen und zu erzielenden gewässerökologischen Zustands, des Vorkommens geschützter oder gefährdeter Arten sowie schutzbedürftiger Habitate insbesondere für Fische und Neunaugen inkl. ihrer Entwicklungsstadien und eines vorhandenen Schutzstatus zu sehen (z. B. FFH/Natura 2000-Gebiete). Der gute ökologische Zustand bzw. das gute ökologische Potenzial und der gute chemische Zustand gemäß EG-WRRL (2000) bzw. dessen Erreichen dürfen durch die thermische Nutzung nicht gefährdet werden (Verbesserungsgebot und Verschlechterungsverbot). Des Weiteren sind naturschutzfachliche Anforderungen einzuhalten. Daher ist eine Beurteilung des Gefährdungspotenzials der vorhandenen und ggf. besonders schützenswerten Gewässerbiozönose und der Habitate durch die angestrebte Nutzung auf Basis aktueller Daten und auf der Basis eines gewässerökologischen Gutachtens oder Artenschutzgutachtens insbesondere dann notwendig, wenn ökologisch sensible Bereiche durch die thermische Nutzung betroffen sein können. Hierbei sollten auch die Uferbereiche mit einbezogen werden (Tabelle 2, Pkt. 3 und Pkt. 4).

Wegen des geringen oder sogar fehlenden Wasseraustauschs sollte i. d. R. eine Einleitung thermisch genutzten Wassers in Bereiche, in denen das Wasser beständig oder zeitweilig stagniert, wie Staubereiche oberhalb von Wehren, Bühnenfelder oder Hafenbecken, nur erfolgen, wenn eine rasche Durchmischung sichergestellt werden kann. Durch Kurzschlussströmungen und wiederholte Nutzung desselben Wassers darf es zu keiner Überschreitung der Anforderungswerte an die zulässige Temperaturveränderung im stagnierenden Wasserkörper kommen (Tabelle 2, Pkt. 5) (s. auch Kap. 2.4).

Tabelle 2: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung aus Fließgewässern – Anforderungen an den Standort

	Anforderung an den Standort	Begründung
1	Vorlage des geplanten Wärmeentzugs für die thermische Nutzung des Gewässers bzw. des Gewässerabschnitts zur Wärmegewinnung auf Basis gewässerökologisch verträglicher Temperaturverminderungen sowie Beachtung der Summationswirkung mehrerer Anlagen an einem Gewässer oder Gewässerabschnitt auf die Wassertemperatur unter Einhaltung der Anforderungswerte an die	Das Nutzungspotenzial ergibt sich aus der Wärmemenge, die dem Wasserkörper unter Einhaltung der maximal zulässigen Temperaturdifferenz zwischen dem Referenzbereich und dem Gewässerabschnitt nach thermischer Nutzung von 1 - 2 K (im Potamal im Sommer ggf. bis 3 K; s. Kapitel 3.2.2, Tabelle 3) entzogen werden kann. Eine exakte Potenzialermittlung erfordert die Einbeziehung der Wärmeaustauschprozesse mit der Umgebung im Rahmen einer gewässerindividuellen Modellierung und lässt sich durch Mischungsrechnungen im Rahmen einer konservativen Betrachtung nur für das

	Anforderung an den Standort	Begründung
	ökologisch maximal verträgliche Temperaturverminderung (s. Tabelle 3). Prüfung, inwieweit bei Durchflüssen < MNQ Einschränkungen der thermischen Nutzung zur Wärmeengewinnung erforderlich sind. Bei Unterschreiten des MNQ ggf. Erteilung von Auflagen zu Betriebseinschränkungen zur Sicherstellung der Einhaltung von Vorgaben.	aktuelle Potenzial ermitteln (s. Kap. 2.2). Neben dem MNQ als Basis für die Anlagen-genehmigung sollten zusätzlich niedrigere Durchflüsse und Wasserstände betrachtet werden, um ggf. Einschränkungen der Nutzung bei sehr niedrigen Durchflüssen vorsehen zu können, wenn eine Gefährdung der Gewässerbiozöten bei Durchflüssen < MNQ nicht auszuschließen ist, z. B. der niedrigere Wasserstand zu einem Trockenfallen größerer Teile des Flussbetts führt und sich die Durchmischungsbedingungen ändern. Dies erfordert i. d. R. die Festlegung eines Anforderungswerts an den Mindestdurchfluss für die thermische Nutzung bzw. eine Beschränkung des Anlagenbetriebs bei Durchflüssen < MNQ (Worst case-Szenario-betrachtung) (vgl. auch Tabelle 4, Pkt. 1).
2	Vorliegen oder Erhebung ausreichender Daten zu den allgemeinen chemisch-physikalischen Parametern (ACP) und zur biologischen Besiedlung sowie zu den vorhandenen Belastungen und zur Hydrologie für den zur thermischen Nutzung vorgesehenen Gewässerabschnitt. Besondere Beachtung der Schutzwürdigkeit von für die Reproduktion wichtigen Fischhabitaten. Sicherstellung der notwendigen Datenbasis für die Beurteilung des aktuellen gewässerökologischen Zustands durch den Antragsteller.	Kenntnisse der Gewässerbeschaffenheit sowie zur Besiedlung und zu den Habitaten vor Inbetriebnahme der Anlage dienen der Beurteilung des aktuellen ökologischen Gewässerzustands und der Prüfung auf das Vorkommen ökologisch besonders sensibler und wertvoller Bereiche und Arten, was eine Nutzung ausschließen oder einschränken könnte. Habitate geschützter und gefährdeter Arten sowie wichtige Fischlaichplätze und Jungfischhabitate sollten vom Einflussbereich der thermischen Nutzung ausgenommen werden (s. auch Pkt. 3).
3	Keine Entnahme- und Rückleitung von Wasser in gesetzlich geschützte Biotope nach § 30 BNatSchG (natürliche oder naturnahe Bereiche fließender und stehender Binnengewässer einschließlich ihrer Ufer und der dazugehörigen uferbegleitenden natürlichen oder naturnahen Vegetation sowie ihrer natürlichen oder naturnahen Verlandungsbereiche, Altarme und regelmäßig überschwemmten Bereiche) sowie in FFH/Natura 2000-Gebiete.	Der gesetzliche Schutz von Biotopen steht i. d. R. im Zusammenhang mit dem Schutz einer hohen biologischen Vielfalt und/oder dem Schutz des Lebensraums gefährdeter Arten.

	Anforderung an den Standort	Begründung
4	Keine Rückleitung abgekühlten Wassers in quasi stagnierende Bereiche ohne Gewährleistung einer raschen Durchmischung durch technische Maßnahmen zur Sicherstellung der Einhaltung der Anforderungswerte an Temperaturverminderungen gemäß Tabelle 3.	Thermisch genutztes Wasser sollte bevorzugt in Bereiche der fließenden Welle eingeleitet werden, da nur dort eine rasche Vermischung mit dem Restwasserkörper gewährleistet ist. In stagnierenden Bereichen besteht die Gefahr der Ausbildung ausgedehnter Kälteinseln. Durch standortspezifische Maßnahmen und Anlagenanpassungen sollte dies ausgeschlossen werden (s. Kap. 2.4).

3.2.2 Gewässerseitige Anforderungen

Zentrale Punkte der ökologisch verträglichen thermischen Nutzung von Fließgewässern zur Wärmeengewinnung müssen der Schutz von Gewässerlebensräumen (Tabelle 4, Pkt. 1) sowie die Einhaltung von Anforderungswerten an die maximal zulässige Temperaturverminderung (Tabelle 4, Pkt. 3) und die Sicherstellung einer Mindesttemperatur sein, die im Gewässer durch den Wärmeentzug nicht unterschritten werden darf, auch wenn die zulässige Temperaturveränderung noch nicht erreicht ist (Tabelle 4, Pkt. 5). Diese Vorgaben sollten zwischen einem Referenzabschnitt und dem Abschnitt unterhalb der Rückleitung, der direkt außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. im Bereich der der vollständigen Durchmischung liegt, eingehalten werden, um die Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose gering zu halten und eine Beeinträchtigung in ihrer Gesamtheit auszuschließen (Tabelle 4, Pkt. 2) (Abbildung 1, Anhang 1).

Die empfohlenen Anforderungswerte basieren auf der Toleranzschwelle gewässerabschnittstypischer Organismen gegenüber Temperaturveränderungen und ihrer Sensitivität gegenüber tiefen Temperaturen (s. Riedmüller & Leßmann 2025), woraus sich die gewässerökologisch begründete Forderung nach einer Minimierung der Ausdehnung des thermisch veränderten Gewässerbereichs ableitet. Dies schließt die Erfüllung von Anforderungen an die Minimierung der Ausbildung von Kälteinseln und die Gewährleistung der ungehinderten Längsdurchgängigkeit durch die Verhinderung der Ausbildung von Kältebarrieren ein (s. Kap. 2.3).

Daten für ökologisch verträgliche Temperaturveränderungen unter Einhaltung des guten ökologischen Zustands bzw. des guten ökologischen Potenzials auf Basis der Betrachtung von Schlüsselarten liegen für Fische unter Berücksichtigung der längszonalen Gliederung von Fließgewässern nach Fischgemeinschaften vor (van Treeck & Wolter 2021). Dabei werden auch unterschiedliche Temperatursensitivitäten im Jahresverlauf berücksichtigt. Abgesehen von den Sommermonaten Juni bis September mit teilweise leicht höheren Werten (≤ 3 K) werden in der Studie von van Treeck & Wolter (2021) für das Salmoniden-Rhithral maximale Temperaturveränderungen von 1 bis 1,5 K und für das Cypriniden-Rhithral und das Potamal von 2 K empfohlen.

Die von van Treeck & Wolter (2021) empfohlenen Werte stellen eine wichtige Grundlage für die Festlegung gewässerökologisch tolerierbarer, nutzungsbedingter Temperaturveränderungen dar, die allerdings differenziert betrachtet werden müssen und im Hinblick auf den Schutz der gesamten Biozönose zu jeder Zeit des Jahres entsprechend Ergebnissen von Literaturrecherchen und Datenanalysen Ergänzungen bedürfen (s. Kap. 2.8 in Riedmüller & Leßmann 2025).

Aus der Analyse der Zusammensetzung von Makrozoobenthoszönosen auf Basis der sommerlichen Temperaturpräferenzen der Arten, wie sie von Halle et al. (2016) durchgeführt wurden, lässt sich ableiten, dass sich Temperaturveränderungen auch beim Makrozoobenthos nur in einem engen Rahmen bewegen sollten. Aus den Erkenntnissen zu Fischen und zum Makrozoobenthos und auch aus der bekannten Temperatursensitivität von Makrophyten- und Diatomeengemeinschaften resultiert die Empfehlung, dass die Temperaturveränderung durch die thermische Nutzung zu allen Jahreszeiten 2 K außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung nicht überschreiten sollte (Tabelle 3) und nur in begrenzten Einzelfällen im Bereich des Potamals 3 K in anthropogen stark überprägten Gewässern ggf. als tolerierbar anzusehen sind.

Im Zusammenhang damit ist auch die zum Schutz der Organismen notwendige Festlegung einer Mindesttemperatur zu sehen, unterhalb derer keine weitere Abkühlung des Gewässers erfolgen sollte, auch wenn das Temperaturverminderungspotenzial noch nicht ausgeschöpft wird (Tabelle 3, Pkt. 4 in Tabelle 4, Anhang 1). Für viele Arten, insbesondere Fische, ist neben der engen Begrenzung der Temperaturverminderung auch diese Vermeidung einer nutzungsbedingten Abkühlung in den Bereich des physiologisch kritischen Temperaturminimums wichtig. Dessen Grenze kann bei etwa 3 – 4 °C angesetzt werden (s. Kap. 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025) (Tabelle 4, Pkt. 5).

Tabelle 3: Empfehlung gewässerökologisch verträglicher Anforderungswerte für Temperaturverminderungen und die zusätzlich nicht zu unterschreitende Mindesttemperatur durch die thermische Gewässernutzung zur Wärmeengewinnung außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung in Fließgewässern entsprechend der längszonalen Gliederung nach Fischgemeinschaften.

Fischgemeinschaft	Sa-ER	Sa-MR	Sa-HR	Cyp-R	EP	MP	HP
Minimalwerte [°C]							
sehr guter und guter Zustand/höchstes und gutes ökologisches Potenzial – Anwendung nur zur Regelung von Kälteeinleitungen → keine Eignung für ACP-Bewertung!							
T _{min} *	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3	> 3
Temperaturverminderung [ΔT in K]							
sehr guter Zustand/höchstes ökologisches Potenzial							
ganzjährig	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
guter Zustand/gutes ökologisches Potenzial							
Sommer (Apr-Nov)	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Winter (Dez-Mär)	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 1,5	≤ 2	≤ 2	≤ 2	≤ 2
Sa: Salmoniden-geprägt, ER/MR/HR = Epi/Meta/Hypo-Rhithral, Cyp: Cypriniden-geprägt, EP/MP/HP = Epi/Meta/Hypo-Potamal							

* Gewässerthermische Nutzung so, dass die Minimaltemperatur im äußeren Mischungsbereich i.d.R. auch bei noch nicht ausgeschöpftem Temperaturverminderungspotenzial nicht unterschritten wird. Sinkt die Wassertemperatur am Entnahmepunkt auf ≤ 3°C, sollte der Wärmeentzug eingestellt werden.

Eine Ermittlung der Temperaturdifferenz nach vollständiger Durchmischung des thermisch genutzten Wassers mit dem Restwasserkörper ist gemäß der Mischungsrechnung in Anhang 4 möglich. Temperaturveränderungen im Gewässer und ihre räumliche Ausdehnung lassen sich mittels hydrodynamischer Modellierungen unter unterschiedlichen Bedingungen ermitteln. Ggf. kann auch auf einfachere Berechnungsansätze zurückgegriffen werden (vgl. Kap. 2.2).

Die Berechnung der räumlichen Ausdehnung der Temperaturveränderungen zur Bestimmung des inneren Durchmischungsbereichs (Abbildung 1) ist für alle Fließgewässer erforderlich, in denen die vollständige Durchmischung nicht unmittelbar an der Einleitstelle durch die Gewässerstruktur oder entsprechende Einleitungsgestaltung hergestellt werden kann (Tab. 4, Punkt 2). Entsprechend betrifft dies vor allem langsam fließende Gewässerabschnitte.

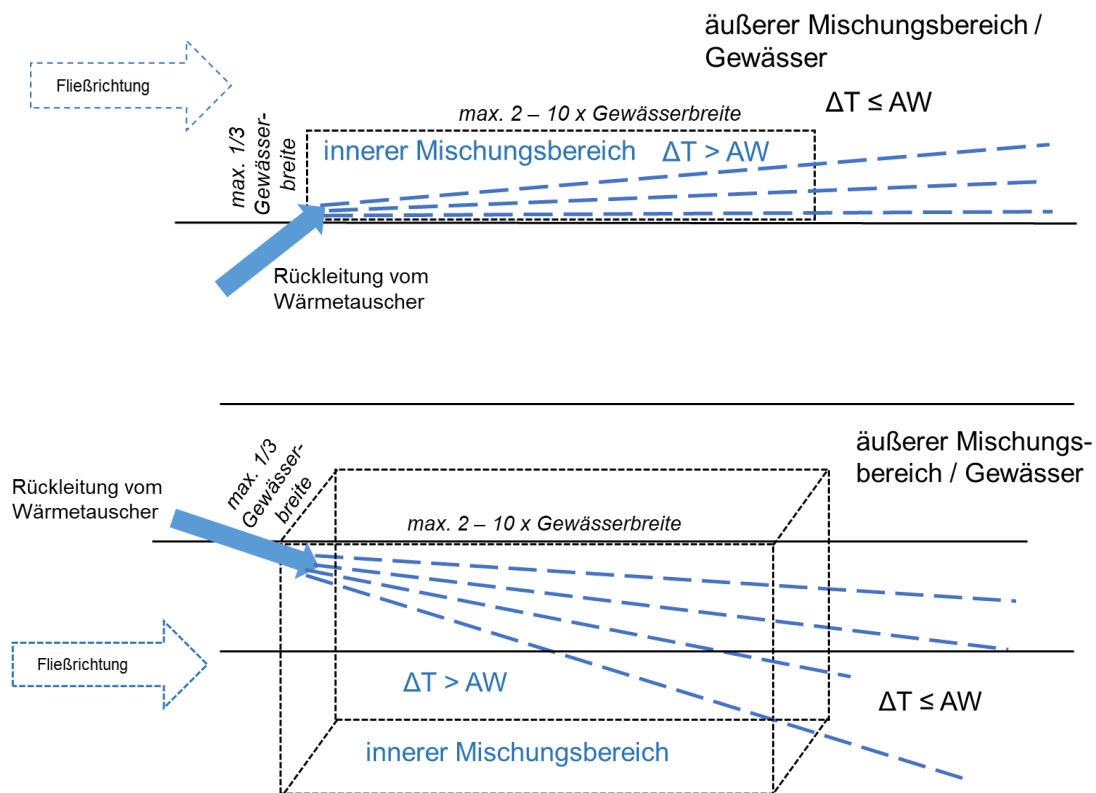


Abbildung 1: Schematische Darstellungen zur Abgrenzung des einleitungs-nahen inneren Mischungs-bereichs von thermisch genutztem Wasser zur Wärme-gewinnung in Fließ-gewässern (oben: in Aufsicht auf das Gewässer, unten: dreidimensionale Ansicht mit Tiefenschnitt)

Die Bestimmung des inneren Mischungs-bereichs ist erforderlich, wenn keine vollständige Durchmischung an der Einleitstelle möglich bzw. durch die Gewässerstruktur gegeben ist. Es wird empfohlen die Ausdehnung des inneren Mischungs-bereichs an der Breite des Gewässers zu orientieren. Er sollte sich flussabwärts auf eine Länge erstrecken, die maximal der doppelten bis in langsam fließenden Gewässerabschnitten mit nur geringer Turbulenz ggf. der zehnfachen Gewässerbreite entsprechen kann, und quer zur Fließrichtung auf maximal 1/3 der Gewässerbreite beschränken. Außerhalb des inneren Mischungs-bereichs sollten die Anforderungswerte (AW) gemäß Tabelle 3 an ökologisch maximal verträgliche Temperaturveränderungen von 1 bis 1,5 K im Salmoniden-Rhithral und 2 K in anderen Gewässer-bereichen eingehalten werden.

Für die Rückleitung des thermisch genutzten Wassers sollte bevorzugt der oberflächennahe Bereich des Gewässers gewählt werden, um eine möglichst rasche Durchmischung zu erreichen (Tabelle 4, Pkt. 4).

Sofern die Entstehung einer Ausleitungsstrecke nicht grundsätzlich zu vermeiden ist, sollte wie

bei allen Wasserentnahmen zum Schutz des Gewässerökosystems die Einhaltung der ökologischen Mindestwasserführung gemäß § 33 WHG innerhalb der Wasserstrecke zwischen Wasserentnahme und –rückleitung sichergestellt sein, die so kurz wie möglich zu halten ist (Tabelle 4, Pkt. 6).

Die im Gewässer errichteten Anlagenteile dürfen gemäß § 34 WHG zu keiner Beeinträchtigung der Längsdurchgängigkeit oder des Geschiebetriebes führen (Tabelle 4, Pkt. 7).

Tabelle 4: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung aus Fließgewässern – gewässerseitige Anforderungen

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
1	Fokussierung der Wärmenutzung auf Gewässer mit einem MNQ > 500 L/s und einer Mindestwassertiefe > 20 cm zur Zeit der beabsichtigten Wasserentnahme, um Projekte auf größere Gewässer zu lenken und die oft sensiblen Gewässerzönosen kleinerer Gewässer zu schützen. Ggf. Anpassung der Anforderung z.B. anhand der Erfordernisse zum Schutz der gewässertypischen Fischfauna. Vertiefte Prüfung von Projekten an kleineren Gewässern.	Die Empfehlung eines geeigneten Mindest-MNQ und einer MNQ-Mindestwassertiefe dient dem Schutz der Gewässerbiozönose kleiner Fließgewässer, in denen nur ein sehr begrenzter Gewässerlebensraum zur Verfügung steht. Mit den Vorgaben wird der Erhalt der für die gewässertypische Fauna notwendigen Lebensraumbedingungen sichergestellt. Kleinere Fließgewässer weisen zudem nur ein geringes thermisch nutzbares Potenzial auf, so dass die Verhältnismäßigkeit zwischen energiepolitischen Zielstellungen und dem Gewässerschutz nicht gewährleistet ist.
2	Abgrenzung eines einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs, außerhalb dessen die Anforderungswerte an die maximal zulässige Temperaturdifferenz gemäß Tabelle 3 zum Referenzbereich einzuhalten sind. Empfehlung zur Abgrenzung des inneren Mischungsbereichs anhand der Gewässerbreite bei MNQ (ggf. jahreszeitabhängiger MNQ) entsprechend Abbildung 1 mit einer Längsausdehnung i. d. R. des doppelten der Gewässerbreite, in langsam fließenden Gewässerabschnitten mit nur geringer Turbulenz ggf. Verlängerung auf die zehnfache Gewässerbreite. Sicherstellung eines ausreichenden, außerhalb des inneren Mischungsbereichs liegenden Migrationskorridors von ca. 2/3 der Gewässerbreite. Ggf. standortindividuelle Anpassungen und Anpassung an Durchflüsse < MNQ.	Zur Vermeidung des Entstehens von Kälteinseln und der damit ggf. verbundenen Etablierung isolierter Populationen sollte der Bereich eines veränderten Temperaturregimes möglichst klein gehalten werden. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass ein ausreichend breiter Migrationskorridor erhalten bleibt, der Temperaturveränderungen maximal im Rahmen der zulässigen Anforderungswerte aufweist, und zudem von den dort herrschenden Fließgeschwindigkeiten her die Migration auch ermöglicht. Nur dadurch kann gewährleistet werden, dass Organismen ihre gewässeraufwärts gerichtete Wanderung nicht unterbrechen, die sowohl für den genetischen Austausch als auch für die Reproduktion vieler Arten in Fließgewässern von großer Bedeutung ist (Hall 1972, Higler 2004). Unter Gesichtspunkten der praktischen Umsetzbarkeit kann eine Anwendung des Mischungszonenkonzepts nicht immer möglich sein. Als Alternative bietet sich die Prüfung

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
	Alternativ: Einhaltung der Anforderungswerte ökologisch verträglicher Temperaturveränderungen gemäß Tabelle 3 nach vollständiger Durchmischung ohne Abgrenzung eines inneren Mischungsbereichs entweder gewässerstrukturbedingt oder durch den Einsatz bestmöglicher Durchmischungstechniken, die eine unmittelbare vollständige Durchmischung im Bereich der Einleitungsstelle sicherstellen.	des Ergebnisses der Temperaturveränderung auf Basis einer Mischungsrechnung an, ggf. unter Vorgabe zum Einsatz von Durchmischungstechniken zur Minimierung der Ausdehnung des Mischungsbereichs (s. auch Kap. 2.3).
3	Festlegung einer maximal zulässigen Temperaturveränderung außerhalb des inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung im Vergleich mit dem Referenzbereich (s. auch <u>Anhang 1</u>). Zum Schutz der Gewässerbiozönose an keinem Punkt und zu keiner Zeit des Jahres eine Überschreitung der empfohlenen Anforderungswerte von 1 bis 2 K (ggf. im Potamal im Sommer bis 3 K nach Einzelfallprüfung) gemäß Tabelle 3.	Die aus gewässerökologischer Sicht tolerierbaren Temperaturveränderungen sollten auf Anforderungswerten basieren, die die in einem Gewässerabschnitt vorkommenden temperatursensitiven Arten berücksichtigen, wobei Unterschiede in der Sensitivität der Lebensstadien zu beachten sind. Daraus können sich jahreszeitliche Differenzierungen ableiten. Nach derzeitigem Kenntnisstand und im Hinblick auf die praktische Umsetzung sind Fische für die Festlegung gewässerökologisch tolerierbarer Temperaturveränderungen als dafür gut geeignete Organismen anzusehen. Entsprechend sollte zum einen den Empfehlungen von van Treeck & Wolter (2021) bei der Festlegung von Anforderungswerten gefolgt werden, zum anderen aber auch die Temperatursensitivität anderer Organismengruppen beachtet werden. Aus den Ergebnissen der für Makrozoobenthoszönosen vorliegenden Studien zur sommerlichen Temperaturpräferenz und aus den sich daraus ergebenden temperaturabhängigen Abgrenzungen der ökologischen Zustandsklassen entsprechend der Studien von Halle et al. (2016) kann abgeleitet werden, dass Temperaturveränderungen von Makrozoobenthos-Arten nur innerhalb eines sehr engen Rahmens toleriert werden, ohne dass es zu Veränderungen der biozönotischen Strukturen kommt. Daher sollte außerhalb des inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung eine Temperaturdifferenz zum Referenzbereich von 1 - 2 K nicht überschritten werden. Dies gilt insbesondere auch für Fließgewässer, in denen heimische Großmuscheln (Unionidae) eine zentrale Funktion im Ökosystem haben, da deren

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
		Filtrationsleistung mit sinkenden Temperaturen deutlich abnimmt (Xia et al. 2021). Zu beachten ist auch die Temperaturabhängigkeit des Selbstreinigungsvermögens bedingt durch die Temperaturabhängigkeit biochemischer Prozesse.
4	Möglichst oberflächennahe Rückleitung .	Durch oberflächennahe Einleitung abgekühlten Wassers wird eine schnellere Durchmischung erreicht, und das Benthos als sensibler Lebensraum wird geringer belastet als bei sohlennaher Einleitung.
5	I. d. R. keine nutzungsbedingte Abkühlung des Gewässers außerhalb des inneren Mischungsbereichs bzw. nach vollständiger Durchmischung auf < 3°C zusätzlich zur Einhaltung der Anforderungswerte zur zulässigen Temperaturverminderung gemäß Tabelle 3. Kein weiterer Wärmeentzug bei Gewässertemperaturen < 3°C. In Ausnahmefällen in gestauten Gewässerabschnitten im Rahmen von Einzelfallprüfungen Nutzung auch bei Temperaturen < 3°C unter der Voraussetzung gleichmäßiger Abkühlung und Begrenzung der Eisbildung.	Für viele Fischarten und insbesondere für bestimmte Lebensstadien dieser Arten stellen niedrige Temperaturen eine hohe physiologische Belastung dar und Temperaturen unter 3°C sind als kritisch für deren Überleben anzusehen (s. Kap. 2.7 und Kap. 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025, Elliott 1980, Shuter et al. 2012, Réalis-Doyelle et al. 2016). Die Festlegung einer unteren Temperaturgrenze dient zudem dem Schutz vor der Bildung von Grundeis (s. Pkt. 6).
6	Keine Initiierung der Bildung von Grundeis .	Vor allem in turbulent fließendem Wasser kann es zu einer Unterkühlung und damit zu einer verzögerten Eisbildung kommen, was dazu führt, dass die Eisbildung im Bereich der geringsten Fließgeschwindigkeit an der Gewässersohle einsetzt (Stickler & Alfredsen 2009, Nafziger et al. 2017). Hiervon sind weitreichende negative Auswirkungen auf die dort siedelnden Organismen zu erwarten. Es sollte daher eine Prüfung hinsichtlich der eingesetzten Technik unter Berücksichtigung der Strömungsverhältnisse im Rückleitungsbereich und der minimal im Winter auftretenden Temperaturen unter Festlegung einer Temperaturuntergrenze von 3°C gemäß Punkt 5 erfolgen.
7	Vermeidung der Ausbildung einer Ausleitungsstrecke. Ist dies nicht möglich, Gewährleistung der	Die Gewährleistung der Mindestwasserführung stellt eine wesentliche Voraussetzung für einen umfassenden Ökosystemschutz dar. Die Ermittlung der Mindestwasserführung sollte nach LAWA (2020) oder entsprechenden

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
	ökologisch notwendigen Mindestwasserführung nach § 33 WHG (s. auch LAWA 2020) bzw. entsprechenden Länderregelungen zwischen Wasserentnahme und –rückleitung sowie Ausschluss von Kurzschlussströmungen zwischen Rückleitung und Entnahme.	Regelungen der Bundesländer erfolgen. Sind diese auf das betroffene Gewässer nicht anwendbar, ist zu prüfen, ob durch die reduzierte Wasserführung auch unter Niedrigwasserbedingungen die Durchgängigkeit und die für die Biozönose erforderlichen Umgebungsbedingungen (z.B. Sauerstoffgehalt, Temperatur) erhalten bleiben und somit keine negativen Wirkungen auf die Biozönose aus der reduzierten Wasserführung entstehen. Kurzschlussströmungen bergen die Gefahr einer Summationswirkung der Abkühlung mit raschem Überschreiten der Anforderungswerte zulässiger Temperaturveränderungen im Wasserkörper.
8	Gewährleistung der biologischen Durchgängigkeit und des Geschiebetriebes nach § 34 WHG.	Durch das Entnahgebauwerk sollte es zu keinem Eingriff in die Gewässerstruktur in der Weise kommen, dass das vorhandene Gewärsbett so verändert wird, dass damit eine nachteilige Veränderung der Längsdurchgängigkeit verbunden ist (gemäß gesetzlichen Anforderungen).

3.2.3 Monitoringanforderungen

Durch Eigenüberwachung sollte sichergestellt werden, dass behördliche Auflagen eingehalten werden, so dass keine Verschlechterungen des ökologischen Zustands des Gewässers zu erwarten sind, die auf die thermische Nutzung zurückzuführen sind. Hierfür ist zum einen der Einsatz von Messgeräten mit kontinuierlichen Aufzeichnungen notwendig (Tabelle 5, Pkt. 1). Zum anderen sollten in Abhängigkeit von der Größe der Anlage, d.h. in Abhängigkeit vom Ausmaß der Gewässernutzung ein maßgeschneidertes erweitertes Temperaturüberwachungsprogramm und ein biologisches Monitoring im Einzelfall festgelegt werden (Tabelle 5, Pkt. 2).

Es ist zu empfehlen, dass die Ergebnisse eines erweiterten Monitorings einer Qualitätskontrolle unterliegen und öffentlich verfügbar gemacht werden, um die bisher noch geringen Kenntnisse der Wirkung der thermischen Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung auf Gewässerbiozönosen zu erweitern und die Anforderungen ggf. anpassen zu können. Die Daten werden zudem als eine Grundlage für die kontinuierliche Fortführung der Potenzialberechnungen benötigt.

Tabelle 5: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung aus Fließgewässern – Monitoringanforderungen

	Monitoringanforderungen	Erläuterung
1	Einsatz von Wärmezählern zur Anlagenüberwachung mit permanenter Registrierung von Anlagendurchfluss und Wassertemperaturen im entnommenen Wasser am Anlageneintritt und im eingeleiteten Wasser am Anlagenaustritt.	Der Einsatz von permanent registrierenden Wärmezählern ermöglicht zum einen eine Kontrolle, ob die genehmigte maximale Anlagenleistung und Betriebsfahrweise eingehalten werden, und ist zum anderen notwendig, um die Ergebnisse eines ggf. geforderten gewässerökologischen Monitorings beurteilen zu können.
2	Vertieftes Monitoring bei Anlagen mit intensiver Gewässernutzung als Einzelfallentscheidung Monitoring des von der thermischen Nutzung betroffenen Gewässerabschnitts bevorzugt unter MNQ-Bedingungen mit Kontrolle der Temperaturdifferenz zwischen Referenzbereich und Grenze des inneren Mischungsbereichs. Vergleichende biologische Untersuchungen zwischen Referenzbereich und Bereich unterhalb der Anlage zur Struktur der Fisch- und Makrozoobenthoszönose sowie der benthischen Diatomeen, ggf. ergänzt durch Makrophytenkartierungen. Beginn der Untersuchungen vor Anlageninbetriebnahme und Wiederholungen nach ein, zwei und fünf Jahren Anlagenbetrieb. Insbesondere bei größeren Anlagen und insbesondere solchen, die zumindest zeitweilig Wasser aus stagnierenden Gewässerabschnitten nutzen, permanenter Einsatz von Temperaturdatenloggern zur Überwachung der Einhaltung zulässiger Temperaturveränderungen im äußeren Durchmischungsbereich.	Mindestens bei Anlagen, die einen relativ hohen Anteil eines Fließgewässers (ca. > 10 % bei MNQ) nutzen, sollten im Rahmen von Einzelfallentscheidungen unter Berücksichtigung der Prognosesicherheit der Auswirkungen auf das Gewässer hinsichtlich zu erwartender Beeinträchtigungen neben der Temperaturüberwachung nach Punkt 1 eine Kontrolle der Einhaltung der räumlichen Vorgaben für zulässige Temperaturveränderungen sowie ein biologisches Monitoring zur langfristigen Sicherstellung des Gewässerschutzes vorgeschrieben werden. Die Struktur der Makrozoobenthoszönose hinsichtlich Artenzusammensetzung, Abundanzen und Dominanzstrukturen ist dabei zusammen mit der Besiedlung durch Fische, Diatomeen und den ggf. vorhandenen Makrophytenvorkommen als zuverlässiger Indikator zur Ermittlung von Auswirkungen der thermischen Nutzung auf das Gewässerökosystem anzusehen.

3.3 Ergänzende Anforderungen an die Nutzung von Seen

3.3.1 Anforderungen an den Standort

Im Gegensatz zu Fließgewässern mit ihrem beständigen Austausch des thermisch genutzten Wasserkörpers akkumuliert sich in Seen die Temperaturveränderung durch die Nutzung in Abhängigkeit von der Wasseraufenthaltszeit und dem Energieaustausch mit der Umgebung, der bei Seen deutlich geringer anzusetzen ist als bei Fließgewässern. Um die Anforderungen an ökologisch verträgliche Temperaturveränderungen einhalten zu können, muss daher bekannt sein, wie hoch das Potenzial für die Wärmegewinnung aus einem See oder bei morphologisch stärker strukturierten Seen aus dem Teilbereich eines Sees ist, aus dem Wärmeenergie unter Einhaltung von Anforderungswerten der Abkühlung des genutzten Wasserkörpers entnommen werden kann. Die Kenntnis des Nutzungspotenzials gewährleistet eine Steuerung der Genehmigung insbesondere bei mehreren beantragten Anlagen zur thermischen Nutzung an einem Gewässer, so dass es zu keiner Übernutzung und damit ökologisch kritischen Abkühlung des Sees kommen kann (Tabelle 6, Pkt. 1) (s. auch Kap. 2.2).

Die thermische Nutzung zur Wärmegewinnung ist vor dem Hintergrund des aktuellen und zu erzielenden gewässerökologischen Zustands zu sehen (Tabelle 6, Pkt. 2). Der gute ökologische und chemische Zustand bzw. der gute chemische Zustand und das gute ökologische Potenzial bzw. dessen Erreichen dürfen durch die thermische Nutzung nicht gefährdet werden. Daher ist eine Beurteilung potenzieller Auswirkungen auf die Gewässerbiozönose durch die angestrebte Nutzung auf Basis aktueller Daten notwendig. In Seen ist zudem die besondere Schutzwürdigkeit des Litorals und von Makrophytenbeständen gemäß den Bestimmungen des BNatSchG (2009) (v. a. §§ 30 (geschützte Biotope) 39, 44 (Allgemeiner und besonderer Artenschutz)) zu beachten (Tabelle 6, Pkt. 3). Dies gilt auch für die in den Uferbereichen durchzuführenden Bauarbeiten.

Tabelle 6: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung aus Seen – Anforderungen an den Standort

	Anforderung an den Standort	Begründung
1	Vorliegen einer Potenzialausweisung oder von Potenzialberechnungen (s. Kap. 2.2) zur Wärmenutzung für den See als Ganzes oder für Teilbecken auf der Basis einer maximalen Temperaturverminderung um 0,2 – 0,5 K in tiefen Seen unter Berücksichtigung seeindividueller Eigenschaften (Seebeckenstruktur, Durchmischungsverhalten, ökologischer Zustand, Trophiestatus, ...) sowie um 1 K in eutrophen und / oder polymiktischen Seen durch die thermische Nutzung zu jeder Zeit des Jahres. Bei Tiefenwasserentnahmen aus tiefen Seen mit großem Hypolimnion ($V_{\text{hypo}} \gg V_{\text{epi}}$) ergänzende Ermittlung des	Das Nutzungspotenzial ergibt sich aus der Wärmemenge, die dem Wasserkörper des Sees entzogen werden kann, ohne dass dies negative Auswirkungen auf das See-ökosystem hat. Bei Seen bedeutet dies vor allem die Aufrechterhaltung der natürlichen limnophysikalischen Eigenschaften des Gewässers. Während sich eine begrenzte Abkühlung des Epilimnions im Sommer sogar positiv auf die gewässerökologische Bewertung auswirken kann, würde eine stärkere Abkühlung im Winter ggf. zu einer Verlängerung der Eisbedeckung mit einer u. U. kritischen Abnahme der Sauerstoffverfügbarkeit im Gewässer führen. Bei der Sommerstagnation kann es zu einer Verkürzung der Schichtungsperiode kommen, was eine

	Anforderung an den Standort	Begründung
	Potenzials zur Wärmenutzung des Hypolimnions auf der Basis einer maximalen Temperaturverminderung des Hypolimnions um 0,2 - 0,3 K zum Ende der Sommerstagnation. Ermittlung des noch ungenutzten Potentials, sofern bereits thermische Nutzungen vorliegen.	erhöhte Primärproduktion im Herbst zur Folge haben kann. Bei der Festlegung der gewässerökologisch tolerierbaren Abkühlung ist es daher notwendig, die Auswirkungen auf die Schichtungsstabilität und –dauer (Schmidt 1928) vor dem Hintergrund des trophischen Status des Sees zu beachten. Insgesamt ist daher eine Begrenzung des ökologisch vertretbaren thermisch nutzbaren Potentials in tiefen Seen, die eine sommerliche Schichtung aufweisen, auf eine Abkühlung von 0,2 – 0,5 K des gesamten Seevolumens bzw. bei Tiefenwassernutzung aus Seen mit großem Hypolimnion auf 0,2 – 0,3 K im hypolimnischen Wasserkörper während der Sommerstagnation notwendig. In eutrophen polymiktischen Seen kann eine darüber hinausgehende Abkühlung um bis zu 1 K ggf. zu einer Verbesserung des gewässerökologischen Zustands beitragen (s. Kap. 6.2 in Riedmüller & Leßmann 2025), sofern die anderen Anforderungen an die thermische Nutzung eingehalten werden.
2	Bereitstellung von Informationen zur Morphologie des Seebeckens (Tiefenkarte und morphometrische Kennwerte), zur Hydrologie (Aufenthaltszeit) und zum gewässerökologischen Zustand / Potenzial (Daten zu allgemeinen chemisch-physikalischen Parametern (ACP) und zu biologischen Qualitätskomponenten). Ggf. Kartierungen zur Ausdehnung des Litorals und von Makrophytenvorkommen sowie von für die Reproduktion wichtigen Fischhabitaten im Umfeld der geplanten Anlage. Erfordernis der Vorlage eines gewässerökologischen Gutachtens durch den Antragsteller in Abhängigkeit vom Umfang der Gewässernutzung und vom Standort im Rahmen von Einzelfallentscheidungen.	Durch das Vorliegen bzw. die Erhebung von Daten zum Gewässerzustand vor Bau und Inbetriebnahme von Anlagen zur thermischen Gewässernutzung ist zum einen eine Prüfung möglich, ob ökologisch besonders sensible und wertvolle Bereiche und Arten betroffen sein können und zum anderen lassen sich durch spätere Untersuchungen Veränderungen durch die thermische Nutzung ermitteln, die ggf. die Begründung von Einschränkungen ermöglichen. Der erforderliche Umfang der für den Genehmigungsprozess notwendigen Daten bzw. Gutachten muss auf Basis bereits vorliegender Informationen und aktueller Kenntnisse oder Einschätzungen des gewässerökologischen Zustands im Einzelfall festgelegt werden.

	Anforderung an den Standort	Begründung
3	Keine Entnahme und Rückleitung von Wasser im Bereich gesetzlich geschützter Biotop nach § 30 BNatSchG (natürliche oder naturnahe Bereiche fließender und stehender Binnengewässer einschließlich ihrer Ufer und der dazugehörigen uferbegleitenden natürlichen oder naturnahen Vegetation sowie ihrer natürlichen oder naturnahen Verlandungsbereiche, Altarme und regelmäßig überschwemmten Bereiche) sowie aus bzw. in FFH/Natura 2000-Gebiete.	Der gesetzliche Schutz von Biotopen steht i. d. R. im Zusammenhang mit dem Schutz einer hohen biologischen Vielfalt und/oder dem Schutz des Lebensraums gefährdeter Arten. Diese Schutzziele dürfen nicht gefährdet werden. Dem Schutz von Litoralbereichen mit ihrer hohen Biodiversität und Bedeutung als Fischlaich- und -aufwuchshabitat gebührt besondere Beachtung.

3.3.2 Gewässerseitige Anforderungen

Die Einhaltung von Anforderungswerten an maximal zulässige Temperaturveränderungen in einem festzulegenden einleitungsnahen Durchmischungsbereich ist wesentlich für die Gewährleistung des Gewässerschutzes bei der thermischen Nutzung, da die Einleitung kühleren Wassers einen Lebensraum mit abweichenden Temperaturbedingungen schafft (Tabelle 7, Pkt. 1). Aufgrund des Dichteunterschieds des eingeleiteten Wassers zum aufnehmenden Wasserkörper kann es zudem zu Strömungen im Seewasserkörper kommen, die natürlicherweise nicht auftreten würden. Daher ist die Ausdehnung des Bereichs größerer Temperaturverminderungen, d. h. der einleitungsnahen inneren Mischungsbereich, zu begrenzen (Abbildung 2).

Die empfohlene, außerhalb des einleitungsnahen Mischungsbereichs einzuhaltende Temperaturdifferenz von maximal 1 K orientiert sich an den Vorgaben der IGKB (2023) für den Bodensee (s. [Anhang 2](#)). Der Wert stellt bis zum Vorliegen fundierter wissenschaftlicher Kenntnisse zu den Auswirkungen von Kälteeinleitungen in Seen zusammen mit der Begrenzung der Abkühlung des Gesamtseeevolumens auf 0,2 – 0,5 K bei tiefen Seen und 1 K bei eutrophen, polymiktischen Seen (s. Kap. 3.3.1) einen Anforderungswert an die maximal zulässige Temperaturverminderung in einem festgelegten Abstand von der Einleitung abgekühlten Wassers dar, bei dem nach derzeitigem Kenntnisstand negative Auswirkungen auf das Seeökosystem ausgeschlossen werden können (s. auch Kap. 2.3). Von besonderer Bedeutung ist die Begrenzung der Temperaturverminderung im Umfeld einer Gewässerthermieranlage auch im Hinblick auf die Vermeidung von Summationswirkungen benachbarter Anlagen an einem See auf die lokale Wassertemperatur (Tabelle 7, Pkt. 2) (s. Kap. 2.2).

Mithilfe hydrodynamischer bzw. limnophysikalischer Modelle lässt sich ermitteln, welche Temperaturveränderungen im Seewasserkörper räumlich und zeitlich bei der Einleitung abgekühlten Wassers im Gesamtsee und lokal im Bereich der Gewässerthermieranlagen zu erwarten sind (s. Kap. 2.3). Unter verschiedenen Szenarien der Entnahme und Rückleitung können Auswirkungen auf die Ausdehnung des Mischungsbereichs, die Schichtungsstabilität und die Dauer von Schichtungsperioden und der Eisbedeckung ermittelt werden.

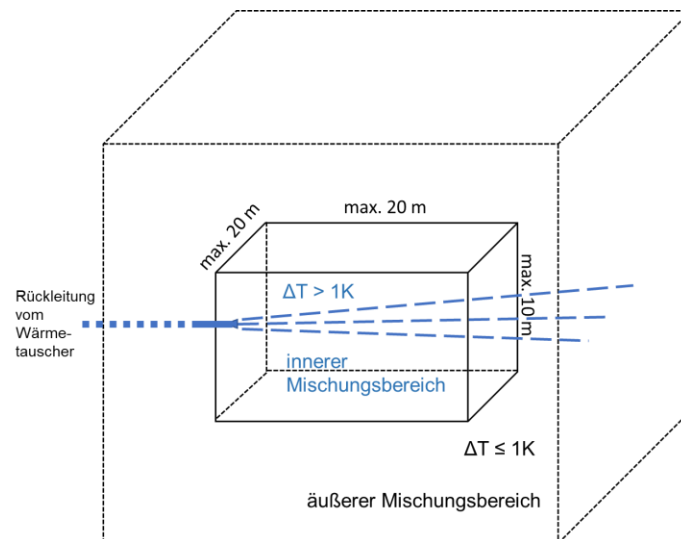


Abbildung 2: Schematische Darstellung zur Abgrenzung des einleitungs-nahen inneren Mischungs-bereichs bei der Rückleitung von thermisch genutztem Wasser zur Wärmegewinnung in Seen als Grundlage für hydrodynamische Modellierungen.

Der innere Mischungs-bereich wird durch einen Quader mit einer Fläche von maximal $20 \times 20\text{ m}$ und einer maximalen Höhe von 10 m begrenzt (IGKB 2023). Außerhalb des inneren Mischungs-bereichs sollte die Temperaturdifferenz zu einem thermisch unbeeinflussten Referenzbereich unter 1 K liegen. Abhängig von der Seegröße können Anpassungen der Ausdehnung des inneren Mischungs-bereichs notwendig sein.

Zur Sicherstellung der Einhaltung der Vorgaben sind hydrodynamische bzw. limnophysikalische Modellierungen in Genehmigungsverfahren insbesondere dann zu fordern, wenn die rechnerische Abschätzung der durch die Wärmenutzung möglichen Temperaturveränderung bezogen auf das Gesamtvolumen des Sees $0,1\text{ K}$ übersteigt und/oder zu erwarten ist, dass an der Grenze des einleitungs-nahen inneren Mischungs-bereichs, die seeindividuell als Basis für Modellsimulationen festzulegen ist, eine Temperaturverminderung um $0,5\text{ K}$ im Vergleich mit einem Referenzbereich überschritten werden kann.

Zur Ermittlung der Entfernung, in der die Temperaturdifferenz von 1 K vor der Rückleitung des thermisch genutzten Wassers unterschritten wird und zur Abschätzung der Effektivität der Einmischung des abgekühlten Wassers in den Seewasserkörper, basierend auf der technischen Auslegung der Wassereinführung, eignet sich nach derzeitiger Einschätzung für tiefe Seen das Bemessungswerkzeug der IGKB für die thermische Nutzung von Wasser aus dem Bodensee (www.h2o-online.com/igkb_therm/igkb_therm_help.php), das flexibel an unterschiedliche Bedingungen angepasst werden kann (Anhang 3).

In tiefen Seen, die eine thermische Schichtung in den Sommermonaten aufweisen, sind die Optionen für die Tiefenlage der Wasserentnahme und –rückleitung auf ihre gewässer-ökologische Verträglichkeit zu prüfen (Tabelle 7, Pkt. 3). Die geringsten Auswirkungen auf die limnophysikalischen Eigenschaften ergeben sich bei oberflächennahen Entnahmen und Rückleitungen, wie Fink et al. (2014) für den Bodensee ermittelt haben.

Konkurrierende Nutzungen und Bestrebungen zum Schutz der Anlage vor zu starkem Muschelbewuchs können zur Bevorzugung der Wasserentnahme aus größeren Seetiefen führen. Zudem kann bei tiefen Seen mit einer regelmäßigen inversen Schichtung im Winter eine Tiefenentnahme und -rückleitung wirtschaftlicher sein, wenn die Wärmenutzung ganz

überwiegend im Winter erfolgt. Dadurch werden ggf. höhere Entnahmetemperaturen ermöglicht und längere Unterbrechungen des Anlagenbetriebs infolge von Temperaturen unter ca. 4°C im oberflächennahen Wasser vermieden, die die Gefahr einer Vereisung des Wärmetauschers mit sich bringen können.

Sofern durch Modellierungsergebnisse nachgewiesen wird, dass unter den gewählten Entnahme- und Rückleitungstiefen die Anforderungswerte an die zulässigen Temperaturveränderungen im Bereich der Rückleitung außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs (< 1 K) und im Gesamtwasserkörper (max. 0,2 – 0,5 K) in tiefen Seen eingehalten werden, kann die Tiefenentnahme und -rückleitung als alternative Variante zur oberflächennahen Entnahme und Rückleitung als ökologisch verträglich erachtet werden. Während der sommerlichen Schichtungsperiode ist aber zu fordern, dass bei hypolimnischer Wasserentnahme und -rückleitung die Temperaturveränderung im Hypolimnion 0,2 - 0,3 K zu keinem Zeitpunkt übersteigt (Tabelle 7, Pkt. 3).

Ein Wasseraustausch zwischen Epilimnion und Hypolimnion sollte vermieden werden, da dies auch immer einen Stoffaustausch zwischen den Schichten bedeutet (Tabelle 7, Pkt. 4) und in das Schichtungsverhalten eingreift.

Unter bestimmten, eng begrenzten Bedingungen soll die thermische Gewässernutzung einen Beitrag zur Seenrestaurierung leisten können, wenn sauerstoffreiches, phytoplanktonarmes Wasser während der Sommerstagnation aus dem Epilimnion entnommen und ins Hypolimnion eingeleitet wird (Boos 2011), wobei eine Überschreitung der Anforderungswert von 0,2 – 0,3 K an die maximal zulässige Temperaturverminderung im Hypolimnion in Kauf genommen werden müsste, wenn die positiven Auswirkungen auf den ökologischen Zustand des Sees überwiegen. Die sich aus einem solchen Vorgehen ergebenden Auswirkungen auf die limno-physikalischen Bedingungen und die räumliche Verteilung der Nährstoffkonzentrationen im See sollten vorab durch Modellsimulationen jedoch umfassend untersucht und im Hinblick auf die Auswirkungen auf das Seeökosystem als Ganzes bewertet werden.

Bei großen, tiefen Seen, in denen sich in milden Wintern das Wasser an der Seeoberfläche nicht bis auf 4°C abkühlt und dadurch eine Vollzirkulation ausbleibt, kann die Wärmenutzung durch die Abkühlung des Wassers an der Seeoberfläche ggf. einen Beitrag dazu leisten, dass der See im Winter vollständig durchmischt und der Sauerstoffvorrat im Tiefenwasser wieder aufgefüllt wird.

Da Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt eine hohe physiologische Belastung für sehr viele Gewässerorganismen, insbesondere Fische mit sich bringen (vgl. Kap. 2.7 und 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025), sollte zum Schutz der Biozönose keine anlagenbedingte Abkühlung von Seen auf Temperaturen unter 3°C erfolgen, auch wenn die Anforderungswerte für die zulässige Temperaturverminderung noch nicht ausgeschöpft sind. Insbesondere bei flachen Seen muss zudem eine ggf. im Hinblick auf den Sauerstoffhaushalt kritische Verlängerung der Eisbedeckung vermieden werden (Tabelle 7, Pkt. 5).

Tabelle 7: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung aus Seen – gewässerseitige Anforderungen

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
1	Festlegung eines inneren Mischungs-bereichs im Bereich der Rückleitung des thermisch genutzten Wassers entsprechend Abbildung 2 als Grundlage für hydrodynamische Modellierungen zur Simulation der Einmischung des abgekühlten Wassers, an dessen Grenze zum äußeren Mischungs-bereich eine Temperaturverminderung um 1 K nicht überschritten werden sollte. Empfohlen wird die Ausweisung eines Quaders für den inneren Mischungsbereich von 10 x 20 x 20 Meter (Abbildung 2). Die Ausdehnung des inneren Mischungsbereichs muss ggf. an die Morphometrie des Seebeckens bei flachen und kleinen Seen und in Abhängigkeit von der Entfernung benachbarter Einleitungen abgekühlten Seewassers angepasst werden.	Der Bereich eines veränderten Temperaturregimes sollte möglichst klein gehalten werden und muss geschützte oder schützenswerte Seebereiche aussparen (vgl. Tabelle 6, Pkt. 3), um die Ausbildung eines von den abiotischen Bedingungen her vom Rest des Gewässers abweichenden Lebensraums zu vermeiden.
2	Begrenzung der lokalen Temperaturverminderung durch die thermische Gewässernutzung auf maximal 1 K außerhalb der inneren Mischungsbereiche benachbarter Anlagen. Ausschluss des Entstehens von Kurzschlussströmungen zwischen benachbarten Anlagen.	Eine Summationswirkung benachbarter Gewässerthermieranlagen auf die Seewassertemperatur in Teilbereichen des Sees sollte verhindert werden, so dass die Temperaturverminderung im Vergleich mit thermisch weitgehend unbeeinflussten Bereichen nicht mehr als 1 K betragen sollte (s. Kap. 2.2). Dies sollte ggf. im Rahmen der technischen Ausführung der Rückleitungen gewährleistet werden (s. Kap. 2.3). Die Festlegung einer lokalen maximalen Temperaturverminderung von 1 K ist als vorbeugender Gewässerschutz zur Minimierung der Auswirkungen auf die limnophysikalischen Seeeigenschaften und auf die Struktur der Biozönosen vor dem Hintergrund einer einzuhaltenden maximalen Gesamt-abkühlung des Sees um 0,2 – 0,5 K zu sehen (vgl. Kap. 3.3.1).
3	Wasserentnahme bevorzugt oberflächennah bzw. bei den während des Sommers eine thermische Schichtung ausbildenden Seen aus dem Epilimnion. Rückleitung ebenfalls oberflächennah	Der oberflächennahen Entnahme und Rückleitung werden die geringsten Auswirkungen auf die limnophysikalischen Eigenschaften eines Sees zugeschrieben (Fink et al. 2014). Der oberflächennahe Wasserkörper steht im Gegensatz zum Tiefenwasserkörper im direkten Energieaustausch mit der Atmosphäre,

	Gewässerseitige Anforderungen	Begründung
	oder in eine mittlere Tiefe bzw. bei geschichteten Seen in die Tiefe, in der sich während der sommerlichen Schichtung das Metalimnion ausbildet. Dabei Ausschluss von Kurzschlussströmungen. Bei tiefen Seen ggf. als Alternative Tiefenwasserentnahme und -rückleitung mit einer Begrenzung der Abkühlung des hypolimnischen Wasserkörpers während der Sommerstagnation auf 0,2 – 0,3 K (s. auch Kap. 3.3.1).	wobei durch die thermische Nutzung verursachte Temperaturveränderungen relativ schnell wieder ausgeglichen werden. Durch die Rückleitung des thermisch genutzten Wassers in die Tiefe, in der sich in eine sommerliche Schichtung ausbildenden Seen das Metalimnion befindet, wird eine Einschichtung des thermisch veränderten Wassers in die Tiefenlage gleicher Dichte auf möglichst kurzem Weg erreicht und damit die Beeinflussung des Restwasserkörpers minimiert. Konzentriert sich die Wärmenutzung weitestgehend auf die Wintermonate oder weist der See während der Sommerstagnation ein deutlich größeres Hypolimnion- als Epilimnionvolumen auf, kann auch eine Tiefenwasserentnahme und -rückleitung wirtschaftlich sinnvoll und ökologisch vertretbar sein, da die Temperaturdifferenzen im Winter im See gering sind und keine getrennten Wasserkörper vorliegen bzw. die Temperaturverminderung während der Sommerstagnation im Hinblick auf das gesamte Hypolimnion gering ist.
4	Keine Entnahmen aus dem Hypolimnion geschichteter Seen und Rückleitungen in das Epi- oder Metalimnion (Eutrophierungsgefahr).	Im Hypolimnion kommt es zu einer Akkumulation von Nährstoffen durch den mikrobiellen Abbau von Detritus, die bei einer Einbringung ins Epilimnion zu einem verstärkten Wachstum von Primärproduzenten führen und eine stärkere Trübung und ggf. Nutzungseinschränkungen zur Folge haben können.
5	Keine wärmenutzungsbedingte Abkühlung von Seen auf < 3°C im Tiefenmittel. Einstellung des Anlagenbetriebs bei Temperaturen $\leq 3^{\circ}\text{C}$ im entnommenen Wasser.	Für viele Fischarten und insbesondere für bestimmte Lebensstadien dieser Arten gelten Temperaturen unter 3°C als kritisch (s. Kap. 2.7 und 6.1 in Riedmüller & Leßmann 2025, Elliott 1981, Shuter et al. 2012, Réalis-Doyelle et al. 2016, Reid et al. 2022). In Flachseen besteht durch den zusätzlichen Kälteeintrag die Gefahr einer deutlichen Verlängerung der Eisbedeckung im Winter und die Ausbildung hypoxischer Bedingungen, die starke Beeinträchtigungen der Seebiozönose zur Folge haben können.

3.3.3 Monitoringanforderungen

In Seen dient das Monitoring insbesondere der Überwachung des Anlagenbetriebs gemäß den erteilten Genehmigungen (Tabelle 8, Pkt. 1) sowie der Überprüfung der Einhaltung der maximal zulässigen Temperaturveränderungen außerhalb des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs (Tabelle 8, Pkt. 2).

Tabelle 8: Anforderungen an die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmeengewinnung aus Seen – Monitoringanforderungen

	Monitoringanforderungen	Erläuterung
1	Einsatz von Wärmezählern zur Anlagenüberwachung zur permanenten Registrierung des Anlagendurchflusses sowie der Temperaturen am gewässerseitigen Anlagenein- und -austritt im See.	Der Einsatz von permanent registrierenden Wärmezählern ermöglicht eine Kontrolle, ob die genehmigte maximale Anlagenleistung und Betriebsfahrweise eingehalten werden.
2	Vertieftes Temperatur-Monitoring bei Anlagen mit intensiver Gewässernutzung als Einzelfallentscheidung. Monitoring des von der thermischen Nutzung betroffenen Seebereichs mit Kontrolle der Temperaturdifferenz durch Tiefenprofilmessungen zwischen Referenzbereich und Grenze des einleitungsnahen inneren Mischungsbereichs, ggf. unter Einsatz fest installierter Temperaturdatenlogger. Messungen mindestens bei Anlageninbetriebnahme und mit Wiederholungen nach ein, zwei und fünf Jahren Anlagenbetrieb. Festlegung der Messtermine in Abhängigkeit von der Fahrweise der Anlage im Jahresverlauf.	Die Einhaltung der Vorgaben für die zulässigen Temperaturveränderungen und für den Bereich, in dem diese eingehalten werden müssen, ist eine wesentliche Komponente zur Sicherstellung des Gewässerschutzes und der Sicherstellung der Einhaltung der maximal zulässigen Temperaturverminderung im gesamten See bzw. Teilbereichen des Seewasserkörpers.

4 Anforderungen an die kombinierte thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmegewinnung und zum Kühlen

Grundsätzlich ist die Nutzung von Gewässern für Kühlzwecke und die damit verbundene Wärmeeinleitung angesichts der globalen Erwärmung mit dem in ihrer Folge zu verzeichnenden Anstieg der Wassertemperaturen von Flüssen und Seen kritisch zu sehen, da dies i. d. R. zu einer Verschärfung der mit der Erwärmung durch den Klimawandel einhergehenden Belastungen des Ökosystems führt. Eine detaillierte Darstellung der Beurteilung von Wärmeeinleitungen in Fließgewässer im behördlichen Genehmigungsverfahren findet sich z. B. in BLfU (2023b) (s. auch Kap. 2.1).

Falls der beabsichtige Wärmeeintrag den Anforderungen standhält, sollte geprüft werden, ob eine kombinierte, gleichzeitige Nutzung für Heiz- und Kühlzwecke möglich ist, so dass dem erwärmten Wasser bereits in der Anlage wieder Wärme entzogen werden kann, die z. B. für eine Warmwasserbereitung benötigt wird. Wärmepumpen mit wechselnder Nutzung kommen zum Einsatz mit Überwiegen der Kühlung im Sommer (gleichzeitig Raumkühlung und Warmwasserbereitstellung) und der Wärmegewinnung im Winter (Raumheizung und Warmwasser). Der Einsatz dieser Anlagen an **Fließgewässern** ist kritisch zu sehen, da sie eine zusätzliche Wärmebelastung für die Gewässer im Sommer bedeuten. Die Auswirkungen der Anlagen können anhand bestehender rechtlicher Vorgaben geprüft werden (s. LAWA 2012, BLfU 2023a, BLfU 2023b).

Bei **Seen** kann eine kombinierte Nutzung ohne gewässerökologische Beeinträchtigungen allenfalls bei tiefen Seen für möglich erachtet werden, wenn hierzu Wasser aus dem Hypolimnion genutzt wird. Voraussetzung ist, dass die Wärmeeinleitung die mittlere Temperatur des Hypolimnions am Ende der Sommerstagnation um nicht mehr als 0,2 – 0,3 K ansteigen lässt (s. auch Kap. 3.3.1). Zudem sollte wie bei der Wärmenutzung eine Temperaturdifferenz von 1 K außerhalb des inneren Mischungsbereichs nicht überschritten werden (s. auch Kap. 3.3.2). Die sich aus den Ergebnissen hydrodynamischer bzw. limnophysikalischer Modellierungen ergebenden Auswirkungen einer kombinierten Nutzung auf die Temperaturverteilung im Seewasserkörper im Jahresverlauf unter unterschiedlichen Jahrestemperaturgängen sollten in jedem Einzelfall Bestandteil des Genehmigungsverfahrens kombinierter thermischer Nutzungen von Seen sein.

Eine Verringerung der Temperaturdifferenz zwischen Epilimnion und Hypolimnion durch die Wärmeeinleitung verringert die Schichtungsstabilität und führt zu einer Verkürzung der Schichtungsperiode. Damit wirkt sie einerseits zwar der durch den Klimawandel bedingten Verlängerung der Schichtungsperiode entgegen und versorgt den Tiefenwasserkörper früher mit Sauerstoff, was positive Auswirkungen auf Eutrophierungsprozesse haben kann. Andererseits resultiert daraus aber wegen des früheren Termins der Herbstzirkulation ein Anstieg der herbstlichen Temperaturen im Gesamtwasserkörper, was zu einem Eintrag von Nährstoffen in den oberflächennahen Wasserkörper zu einem Zeitpunkt führen kann, zu dem noch eine ausreichende Lichtverfügbarkeit für die Primärproduzenten gegeben ist, so dass es zu einem Anstieg der herbstlichen Algenbiomasse kommen kann (s. auch Kap. 2.2 in Riedmüller & Leßmann 2025). Vor diesem Hintergrund sind sorgfältige Abwägungen der sommerlichen Nutzung von Wasser aus tiefen Seen für Kühlzwecke notwendig.

Wenn im Sommer die Nutzung von Tiefenwasser zu Kühlzwecken für möglich erachtet wird, da keine nachteiligen Auswirkungen auf den See zu erwarten sind, sollte die Entnahme aus der Mitte des Hypolimnions und die Rückleitung entsprechend der Lage am Ende der Sommerstagnation in das obere Viertel des Hypolimnions erfolgen. Dadurch wird weitgehend

vermieden, dass Wasser aus dem sedimentnahen Bereich, das durch Nährstoffrücklösungen ein höheres Eutrophierungspotenzial hat als Wasser in geringerer Tiefe, nach der Rückleitung zu einem stärkeren Anstieg der Primärproduktion im Metalimnion oder oberen Hypolimnion ggf. unter Ausbildung von Tiefenchlorophyll-Maxima (DCM) führt.

5 Empfehlungen für die bei der Beantragung von thermischen Gewässernutzungen zur Wärmeengewinnung zu berücksichtigenden Unterlagen

Aus gewässerökologischer Sicht sollten bei der Bearbeitung von Anträgen auf die thermische Nutzung von Gewässern zur Wärmeengewinnung eine Reihe von Unterlagen für eine detaillierte Prüfung berücksichtigt werden, die vom Anlagenbetreiber für die Antragstellung vorzulegen sind. Die Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und muss im Einzelfall angepasst werden.

5.1 Technische Unterlagen

Insbesondere folgende Angaben sollten vorliegen:

- Ausführungspläne und Anlagenbeschreibung,
- Leistungskennzahlen der Anlage mit Angaben zu Betriebszeiten, mittleren jährlichen Betriebsstunden, Durchfluss und Temperaturspreizungen im Jahresverlauf bei unterschiedlichen Witterungsverläufen,
- Art, Menge und Wassergefährdungsklasse der verwendeten Wärmeträger in den einzelnen Kreisläufen,
- Angaben zu den Sicherheitseinrichtungen der Anlage,
- Eingriffe und Anlagen im Gewässer- und Uferbereich, insbesondere Pläne für Entnahme- und Rückleitungseinrichtungen und deren Verortung inkl. Zu- und Abführungen zu den Wärmetauschern,
- Schutzmaßnahmen für Organismen an den Entnahmeeinrichtungen,
- technische Ausführung der Rückleitung des thermisch genutzten Wassers,
- Messeinrichtungen für Anlagenbetrieb und -überwachung und deren Platzierung,
- Konzept zur Reinigung der Anlagenteile, die in Verbindung mit dem Gewässer stehen, insbesondere dem Schutz vor bzw. der Beseitigung des Aufwuchses in Rohrleitungen und an den Wärmetauschern,
- Konzept zum Umgang mit Betriebsstörungen.

5.2 Gewässerbezogene Unterlagen

Insbesondere folgende Unterlagen werden i. d. R. für eine Beurteilung der Eignung eines Gewässers und des gewählten Standorts für die thermische Nutzung zur Wärmeengewinnung vom Antragsteller benötigt.

Allgemein

- Begründung der Standortwahl,
- Schutzstatus (z. B. FFH/Natura 2000-Gebiet), Vorkommen geschützter Arten im Nutzungsbereich, ggf. Artenschutzfachbeitrag bzw. Fachbeitrag Naturschutz inkl. Berücksichtigung der artenschutzrechtlich besonders geschützten und streng geschützten aquatischen Arten,
- Angaben zu Trinkwasserschutzgebieten und weiteren relevanten Schutzzonen,
- ggf. Ergebnisse der letzten Bewertung des gewässerökologischen Zustands bzw. Potenzials nach EG-WRRL (2000),
- Ergebnis der Prüfung auf Fischlaichplätze und Jungfischstandorte.

Fließgewässer

- Hydrologische Kennwerte aus einem mindestens zehnjährigen Zeitraum (falls vorhanden), ansonsten aktuelle hydrologische Daten zur Festlegung des MNQ unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Unterschiede, ggf. Ermittlung durch Korrekturrechnungen zur nächstgelegenen Pegelmessstelle oder Nutzung vorhandener Regionalisierungen,
- im Bereich sensibler Gebiete (Fischlaichplätze, ökologisch besonders sensible Gebiete): das Vorliegen aussagekräftiger Daten zum Ist-Zustand des Gewässers,
- bei größeren, gewässerökologisch relevanten Anlagen und/oder geplanter Nutzung des gesamten vorhandenen theoretischen Potenzials Ergebnisse eines gewässerökologischen Gutachtens zu Makrozoobenthos und Fischen und Neunaugen im von der geplanten Anlage betroffenen Gewässerabschnitt,
- weitere erforderliche Unterlagen:
 - Berechnungsergebnisse zur Temperaturveränderung im Gewässer nach vollständiger Durchmischung des thermisch genutzten Wassers mit dem im Gewässer verbliebenen Wasser unter MNQ-, NQ- und NNQ-Bedingungen,
 - bei größeren, gewässerökologisch relevanten Anlagen und/oder geplanter Nutzung des gesamten vorhandenen theoretischen Potenzials Ergebnisse hydrodynamischer Modellierungen zum Nachweis der Einhaltung der maximal zulässigen Ausdehnung des inneren Mischungsbereichs und der zulässigen Temperaturdifferenz außerhalb dieses Bereichs,
 - Nachweis der Sicherstellung des ökologischen Mindestabflusses im Bereich einer sich evtl. ausbildenden Ausleitungsstrecke zwischen Entnahme und Rückleitung.

Seen

- Tiefenkarte mit morphometrischen Kennwerten,
- Daten zu Wasserstandsschwankungen der letzten zehn Jahre (falls vorhanden),
- Verlauf der Wassertemperaturen im Jahresverlauf im Oberflächen- und Tiefenwasser mit Angaben zu Schichtungsverhalten, Minima und Maxima (falls vorhanden),
- Angaben zum Trophiestatus,
- Angaben zur Ufer- bzw. Litoralvegetation sowie emersen und submersen Makrophytenbeständen, bei Vorhandensein Vorlage von Ergebnissen einer Kartierung im geplanten Standortbereich,
- weitere erforderliche Unterlagen:
 - Nachweis der Einhaltung der maximal zulässigen Ausdehnung des inneren Mischungsbereichs und der zulässigen Temperaturdifferenz außerhalb dieses Bereichs auf der Basis von Modellierungen bzw. Berechnungen (ggf. unter Verwendung des Bemessungswerkzeugs der IGKB [https://www.h2o-online.com/igkb_therm/igkb_therm_help.php]),
 - Nachweis der Wahl einer gewässerökologisch günstigen Entnahme- und Rückleitungstiefe im Rahmen einer Variantenbetrachtung,
 - Aussagen zu den Auswirkungen des Anlagenbetriebs auf ACP-Parameter,
 - bei tiefen Seen Angaben zu den Auswirkungen des Anlagenbetriebs auf das Schichtungsverhalten hinsichtlich Ausdehnung von Epilimnion und Metalimnion während der Sommerstagnation, Stabilität der Schichtung und Dauer der Schichtungsperiode,
 - Angaben zu den Auswirkungen des Anlagenbetriebs auf die Dauer der Eisbedeckung.

Glossar

ACP	allgemeine chemisch-physikalische Parameter, „unterstützende“ Qualitätskomponenten der WRRL
Aufwuchs (Periphyton)	(=Biofilm) festsitzende Besiedlung von u. a. Algen, Bakterien, Pilzen und Muscheln
AW	Anforderungswerte hier für Temperaturveränderungen etc.
Biozönose	Artengemeinschaft von Organismen in einem gemeinsamen Lebensraum
Cyanobakterien	Blualgen oder Blaugrünbakterien, sind i.e.S. Bakterien
Cypriniden	Karpfenartige Fische, kommen vermehrt in Unterläufen von Fließgewässern sowie in Seen vor
Diatomeen	Kieselalgen, Mikroalge mit Siliziumdioxid-Schale
emers	über die Wasseroberfläche hinauswachsend
Epilimnion	oberste Wasserschicht in thermisch geschichteten Seen
eutroph	nährstoffreich, eine hohe Primärproduktion aufweisend
FFH	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie, gilt seit 1992 in der EWG/EU und soll die biologische Vielfalt fördern und schützen mit dem Ziel eines zusammenhängenden Netzes von Schutzgebieten
FWK	Flusswasserkörper
geschichtet	thermische Schichtung aufweisend, v.a. in tieferen Seen
Gewässer- kontinuum	in Fließrichtung von Fließgewässern ablaufende Veränderungen und Prozesse, z.B. vom schnell fließenden Bergbach zum langsam strömenden Tieflandstrom
Gleichgewichts- temperatur	die sich im Austausch mit der Umgebung und unter „natürlichen“ Bedingungen einstellende Temperatur
GÖG	gewässerökologisches Gutachten
Grundeis	Eisbildung im Bereich geringerer Fließgeschwindigkeiten an der Gewässersohle in unterkühlten Fließgewässern (< 0 °C) mit stärkerer Strömung
guter Zustand	Werte für die biologischen Qualitätskomponenten des Oberflächengewässertyps zeigen geringe anthropogen bedingte Abweichungen vom Referenzzustand, welcher die Verhältnisse bei Abwesenheit störender Einflüsse durch den Menschen beschreibt (EG-Wasserrahmenrichtlinie 2000, Anhang V, Tab. 1.2), bei künstlichen und erheblich veränderten Gewässern wird der Begriff gutes Potenzial verwendet

Habitat	Lebensraum von Organismen mit bestimmten für die Arten lebensnotwendigen Eigenschaften
Hypolimnion	untere kühlere Wasserschicht in thermisch geschichteten Seen
K	Kelvin, entspricht hinsichtlich Größeneinheit dem Grad Celsius jedoch mit Nullwert bei -273°C und wird vorzugsweise für die Benennung von Temperaturdifferenzen verwendet (ΔT)
Kälteschock	durch schnellen Temperatursturz, z.B. > 10 K/h, ausgelöste schädigende physiologische Veränderung wie z.B. eingeschränkte Muskelfunktion bei Fischen
Limnophysikalische Modelle	Rechenmodelle physikalischer Prozesse in Gewässern z.B. zum Temperaturverhalten, werden für Prognosen eingesetzt
Litoral	vom Licht durchflutete Flachwasserzone in Seen
Makrophyten	mit bloßem Auge sichtbare höhere Wasserpflanzen und Armeleuchteralgen
Makrozoobenthos	wirbellose Tiere, die in der Gewässersohle (Benthal) leben
Metalimnion	Sprungschicht in thermisch geschichteten Seen, bildet den Übergangsbereich zwischen dem wärmeren Epi- und dem kühlen Hypolimnion
Migrationskorridor	durchgehender hier für die Gewässerorganismen flussauf- wie flussabwärts durchwanderbarer Bereich mit u.a. geringeren Fließgeschwindigkeiten oder geeignetem Substrat
Mindestwasserführung	in Ausleitungsstrecken (oft von Wasserkraftanlagen) u.a. ökologisch begründeter und einzuhaltender Mindestdurchfluss (s. LAWA 2020)
Mischungsbereich	„Äußerer Mischungsbereich“: Bereich, in dem die Anforderungswerte an die Temperaturveränderung eingehalten werden, die Einmischung thermisch genutzten Wassers aber noch nicht abgeschlossen ist. „Innerer Mischungsbereich“: Einleitungsnaher Rückgabebereich des abgekühlten Wassers, in dem die Anforderungswerte an die Temperaturveränderung überschritten werden können.
MNQ	mittlerer Niedrigwasserdurchfluss, langjähriger Mittelwert der jährlichen Niedrigwasserdurchflüsse
Monitoring	Überwachung z.B. der chemischen Beschaffenheit oder biologischen Besiedlung in einem bestimmten Rhythmus
NQ	Niedrigwasserabfluss (NNQ niedrigster Niedrigwasserabfluss), meist mit Bezugszeitraum angegeben
OGewV	Oberflächengewässerverordnung des Bundes, aktuelle Fassung vom 20.06.2016

polymiktisch	Seen, die aufgrund ihrer geringeren Tiefe häufiger im Jahr bis zum Grund durchmischt werden
Potamal	meist im Tiefland liegender Unterlauf von Fließgewässern
Primärproduktion	biologische Produktion von Biomasse durch Pflanzen, Algen oder autotrophe Bakterien mithilfe von Licht oder chemischer Energie und Nährstoffen
QK	Qualitätskomponenten der WRRL, welche zur Bewertung verwendet werden
Referenzstelle	vom betrachteten menschlichen Eingriff unbeeinflusste Stelle
Rhithral	Fließgewässerzone Bach, oft in Hügel- oder Bergregionen gelegen
Salmoniden	Lachs- oder Forellenfische, besitzen oft höhere Empfindlichkeit gegenüber Umwelteinflüssen
Selbstreinigung	hier: im Gewässer ablaufende Abbauprozesse von organischen Stoffen
Sommerstagnation	Phase der sommerlichen thermischen Schichtung in tieferen Seen
submers	unter Wasser lebend
Temperatur-spreizung	Temperaturunterschied zwischen Wasserentnahme und Rückleitung innerhalb der Anlage zur thermischen Gewässernutzung
Trophie	Maß für die Intensität der Primärproduktion, abhängig von der Ressourcenverfügbarkeit (Energie- und Nährstoffangebot)
Wärmelast-rechnung	Berechnung des Temperaturregimes von Gewässern unter Berücksichtigung von Wärme- und Kälteeinleitungen
Wasserkörper	hier: Wasservolumen eines Gewässers im Sinn des allgemeinen Sprachgebrauchs
WHG	bundesdeutsches Wasserhaushaltsgesetz mit Bestimmungen zum Schutz und zur Nutzung von Oberflächengewässern und des Grundwassers
WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie, die im Jahr 2000 (EG 2000) verabschiedet und im Jahr 2003 im deutschen Wasserhaushaltsgesetz (WHG) national umgesetzt wurde
Zirkulation (See)	vertikale Durchmischung der Wasserschichten von Seen in Folge von Temperatúrausgleich (Isothermie)

Literatur

ARGE Rhein (1971): Wärmelastplan Rhein. Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung des Rheins, Wiesbaden.

AWA Bern (2018): Erläuterungen zur Erarbeitung eines Gesuchs um Erteilung einer Wärmepumpen- oder Kühlwasserkonzession mit Wasser aus Bächen, Flüssen und Seen. Kanton Bern, Bau- und Verkehrsdirektion, Amt für Wasser und Abfall. Merkblatt vom 1. Juni 2018.

AWEL Zürich (o.J.): Planungshilfe Wärme- Kältenutzung aus Flüssen und Seen. Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft.

AwSV (2017): Verordnung über Anlagen zum Umgang mit wassergefährdenden Stoffen vom 18. April 2017 (BGBl. I S. 905), die durch Artikel 256 der Verordnung vom 19. Juni 2020 (BGBl. I S. 1328) geändert worden ist.

Barnthouse, L.W. (2013): Impacts of entrainment and impingement on fish populations: A review of the scientific evidence. *Environmental Science and Policy* 31, 149–156.

Beitinger, T.L., W.A. Bennet & R.W. McCauley (2000): Temperature tolerances of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes* 58, 237–275.

Berger, H. (2011): Wärmetauscher in oberirdischen Gewässern - Wasserwirtschaftliche Betrachtung. Wasserwirtschaftsamt Deggendorf.

BfSU, NMfUK & MfLUR-SH (2008): Wärmelastplan für die Tideelbe. Sonderaufgabenbereich Tideelbe der Länder Hamburg, Niedersachsen, Schleswig-Holstein. Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt Hamburg, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt und Klimaschutz Hannover, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein.

BLfU (2023a): Gewässerökologische Begutachtung von Wärmeeinleitungen. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Merkblatt Nr. 4.5/19. Stand: 01/2023.

BLfU (2023b): Beurteilung von Wärmeeinleitungen. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Merkblatt Nr. 4.5/18. Stand: Januar 2023.

Böttger, S., B. Felgentreff, G. Hesse, H.-J. Hloulcal, D. Leßmann, S. Mix, K. Roselt, M. Safarik, J. Schmidt, C. Steffan & W. Uhlmann (2021): Seethermie - Innovative Wärmeversorgung aus Tagebaurestseen. Metropolregion Mitteldeutschland, Leipzig, 146 S.

Boos, K.-J. (2011): Energiegewinnung durch Nutzung von Seewasser aus Baggerseen. *Steinbruch und Sandgrube* 6/2011, 28–30.

Boys, C.A., W. Robinson, L.J. Baumgartner, B. Rampano & M. Lowry (2013): Influence of approach velocity and mesh size on the entrainment and contact of a lowland river fish assemblage at a screened irrigation pump. *PLoS ONE* 8(6), e67026.

Brahmer, G. & W. Teichmann (2007): Ein Wärmesimulationsmodell für den hessischen Main. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie, W3/W1, Wiesbaden. HLNUG-Jahresbericht 2007, 31–38.

Bretzel, J.B., C.A. Boys, R.J. Watts, K.E. Doyle & L.E. Baumgartner (2023): Alleviating the loss: A conical fish screen installation reduces native fish entrainment at a gravity-fed water diversion. *Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems* 33, 1477–1491.

BArtSchV (2005): Bundesartenschutzverordnung vom 16. Februar 2005 (BGBl. I S. 258, 896), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 21. Januar 2013 (BGBl. I S. 95) geändert wurde.

BNatSchG (2009): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 3. Juli 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 225) geändert wurde.

BUND (2009): Wärmelast Rhein. Studie. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, 71 S.

Chakraborti, R.K., S. Madon, J. Kaur & D. Gabel (2013): Management and control of dreissenid mussels in water infrastructure facilities of the southwestern United States. In: T.F. Nalepa & D.W. Schloesser (eds.), Quagga and Zebra Mussels – biology, impacts, and control. 2nd ed. CRC Press, 215-242.

Cole, T.M. & S.A. Wells (2015): CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, version 3.72. Portland State University, Department of Civil and Environmental Engineering.

Cope, B., J. Deacon & P. Leinenbach (2017): CORMIX modeling of tributary plumes in the lower Columbia River. Technical Memorandum, Columbia River CWR Project Team.

Donaldson, M.R., S.J. Cooke, D.A. Patterson & J.S. MacDonald (2008): Cold shock and fish. *Journal of Fish Biology* 73(7), 1491-1530.

Eawag (2022): Wärmenutzung aus Seen und Fließgewässern. Eawag Factsheet, Januar 2022.

EG (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Wasserrahmenrichtlinie. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften L 327/1 vom 22.12.2000.

EG (2006): Richtlinie 2006/44/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 6. September 2006 über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten. Amtsblatt der Europäischen Union L 264/20 vom 25.9.2006.

Elliott (1981): Some aspects of thermal stress on freshwater Teleosts. In: A.D. Pickering (ed.), *Stress and fish*. Academic Press, London/New York, 209-245.

Fink, G., M. Schmid & A. Wüest (2014): Large lakes as sources and sinks of anthropogenic heat: Capacities and limits. *Water Resources Research* 50, 7285 – 7301.

Gaudard, A. & M. Schmid (2019): Thermische Nutzung von Seen und Flüssen. <https://thermdis.eawag.ch/de>

Gaudard, A., M. Schmid & A. Wüest (2017): Thermische Nutzung von Oberflächengewässern. Mögliche physikalische und ökologische Auswirkungen der Wärme- und Kältenutzung. *Aqua & Gas* 5, 40-45.

Gaudard, A., M. Schmid & A. Wüest (2018): Thermische Nutzung von Seen und Flüssen. Potenzial der Schweizer Oberflächengewässer. *Aqua & Gas* 2, 26-33.

Gaudard, A., A. Wüest & M. Schmid (2019): Using lakes and rivers for extraction and disposal of heat: Estimate of regional potenzials. *Renewable Energy* 134, 330-342.

Haag, I., A. Luce & U. Badde (2005): Ein operationelles Vorhersagemodell für die Wassertemperatur im Neckar. *Wasserwirtschaft*, 95. Jhg. 7-8, 45–51.

Haag, I., K. Teltscher & D. Aigner (2023): 2-Grad-Ziel für unsere Bäche - Wassertemperatur und Beschattung. Kurzbericht im Rahmen des Kooperationsvorhabens KLIWA Klimaveränderungen und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. LUBW, LfURP, HLNUG, BLfU, LAZBW.

Hall, C.A.S. (1972): Migration and metabolism in a temperate stream ecosystem. *Ecology* 53 (4), 585-604.

Halle, M. & A. Müller (2014): Korrelationen zwischen biologischen Qualitätskomponenten und allgemeinen chemischen und physikalisch-chemischen Parametern in Fließgewässern. Endbericht LAWA-Projekt O 3.12 des Länderfinanzierungsprogramms Wasser, Boden und Abfall 2012.

Halle, M., A. Müller & A. Sundermann. (2016): Ableitung von Temperaturpräferenzen des Makrozoobenthos für die Entwicklung eines Verfahrens zur Indikation biozönotischer Wirkungen des Klimawandels in Fließgewässern. KLIWA-Berichte, Heft 20.

Higler, L.W.G. (2004): Migration of aquatic invertebrates. In: D. Werner (ed.), *Biological Resources and Migration*. Springer Berlin, Heidelberg, 183-191.

HLU (1973): Wärmelastplan Main. Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden.

IGKB (2019): Quagga-Muschel im Bodensee. Faktenblatt der IGKB. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee.

IGKB (2023): Bodensee-Richtlinien 2005 mit Ergänzungen und Änderungen bis 16. Mai 2023. 6. Version. Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee.

Jirka, G.H., T. Blenninger, D. Leonhard & I. Haunschild (2003): Umweltqualitätsnormen in der EG-Wasserrahmenrichtlinie: Sinnvolles oder lästiges Attribut für Gewässergütemanagement? <https://www.wasserblick.net/servlet/is/14652/>

Jirka, G.H., T. Blenninger, R. Burrows & T. Larson (2004): Environmental quality standards in the EC-water framework directive: Consequences for water pollution control for point sources. *European Water Management Online*. Official Publication of the European Water Association (EWA), January 2004.

Kammer, H. (2018): Thermische Seewassernutzung in Deutschland. Bestandsanalyse, Potenzial und Hemmnisse seewasserbetriebener Wärmepumpen. Wiesbaden, Vieweg.

Karatayev, A.Y. & L.E. Burlakova (2022): What we know and don't know about the invasive zebra (*Dreissena polymorpha*) and quagga (*Dreissena rostriformis bugensis*) mussels. *Hydrobiologia*, <https://doi.org/10.1007/s10750-022-04950-5>.

Keller, P. (2010): Kälte und Wärme aus dem Zugersee nutzen. Kanton Zug, Amt für Umweltschutz, Umwelt Zug 2010-2, 4-6.

Keuneke, R. & E. Massmann (2020): Ziele für den Fischschutz und Fischabstieg in Deutschland - Überblick über Instrumente des Fischschutzes in Deutschland. Forum Fischschutz & Fischabstieg, Fact Sheet 02.

Kirillin, G., T. Shatwell & P. Kasprzak (2013): Consequences of thermal pollution from a nuclear plant on lake temperature and mixing regime. *Journal of Hydrology* 496, 47–56.

Langford, T.E.L. (1990): Ecological effects of thermal discharges. *Pollution Monitoring Series*, Elsevier Applied Sciences. 468 S.

Laszewski, M.A. (2018): Diurnal water temperature dynamics in lowland rivers: A case study from Central Poland. *Journal of Water and Land Development* 36 (I–III), 89–97.

LAWA (1977): Grundlagen für die Beurteilung der Wärmebelastung von Gewässern. 2. verbesserte Auflage. Teil 1: Binnengewässer. Ausgearbeitet von der LAWA-Arbeitsgruppe „Wärmebelastung der Gewässer“.

LAWA (2012): Grundlagen für die Beurteilung von Kühlwassereinleitungen in Gewässer. LAWA-ad-hoc-Unterausschuss „Kühlwassereinleitungen“. Kulturbuchverlag.

LAWA (2019): Herleitung von ökologisch begründeten Orientierungswerten für die Mindestwasserführung von Fließgewässern. Projekt O 8.17 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“. Projektteam „umweltbüro essen – chromgruen – Senckenberg“. Essen/Velbert/Gelnhausen, Juni 2019.

LAWA (2020): LAWA-Empfehlung zur Ermittlung einer ökologisch begründeten Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen. Produkt-Datenblatt PDB AO 19. Beschlüsse der 144.-149. LAWA-VV.

LUBW (2016): Handreichung Fischschutz und Fischabstieg an Wasserkraftanlagen – Fachliche Grundlagen. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg.

McMichael, G.A., J.A. Vucelick, C.S. Abernethy & D.A. Neitzel (2004): Comparing fish screen performance to physical design criteria. *Fisheries* 29(7), 10–16.

Mefford, B. (2013): Guide to fish screens. Pocket guide to screening small water diversions. Technical Notes, US Department of Agriculture, Engineering-06. Albuquerque/New Mexico.

Murphy, C.A., S.L. Johnson, W. Gerth, T. Pierce & G. Taylor (2021): Unintended consequences of selective water withdrawals from reservoirs alter downstream macroinvertebrate communities. *Water Resources Research* 57, e2020WR029169.

Nafziger, J., Y. She, F. Hicks & R.A. Cunjak (2017): Anchor ice formation and release in small regulated and unregulated streams. *Cold Regions Science and Technology* 141, 66–77.

OGewV (2011): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juli 2011 (BGBl. I Nr. 37 vom 25.07.2011 S. 1429).

OGewV (2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer. Oberflächengewässerverordnung vom 20. Juni 2016 (BGBl. I S. 1373).

Pottgiesser, T. (2018): Zweite Überarbeitung der Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen. Umweltbüro Essen im Auftrag des Umweltbundesamtes. Steckbriefe und Begleittext.

Réalis-Doyelle, E., A. Pasquet, D. De Charleroy, P. Fontaine & F. Teletchea (2016): Strong effects of temperature on the early life stages of a cold stenothermal fish species, brown trout (*Salmo trutta* L.). *PLoS ONE* 11(5), e0155487.

Reid, C.H., P.H. Patrick, T. Rytwinski, J.J. Taylor, W.G. Willmore, B. Reesor & S.J. Cooke (2022): An updated review of cold shock and cold stress in fish. *J. Fish Biol.* 100 (5), 1102–1137.

Riedmüller, U. & D. Leßmann (2025): Grundlagen und Leitlinien für eine ökologisch verträgliche thermische Nutzung von Gewässern - Literaturstudie und Auswertung von Monitoringdaten zur Ermittlung und Absicherung von Anforderungen an die thermische Gewässernutzung. Studie im Rahmen des LAWA-Projekts O 5.23, LFP 2023.

- Riedmüller, U., U. Mischke, T. Pottgiesser, J. Böhmer, R. Deneke, D. Ritterbusch, D. Stelzer & E. Hoehn (2022): Steckbriefe der deutschen Seetypen. Begleittext und Steckbriefe.
- Rutherford, J.C. (1994): River mixing. John Wiley & Sons, Chichester u. a., 347 S.
- Saravanan, K., N. Sundaramoorthy, G. Mohankumar & N. Subramanian (2010): Studies on some aspects of Jet Mixers I: Hydrodynamics. *Modern Applied Science* 4(3), 51-59.
- Schaffner, B. & K. Niederberger (2017): Programm „Thermische Netze“ - Nutzung von Oberflächengewässer für thermische Netze. Schlussbericht, 27. September 2017. Energie Schweiz.
- Schmid, M. (2014): Abschätzung des Potenzials des Ägerisees für die Wärme- und Kältenutzung. Bericht, eawag, Kastanienbaum/Schweiz.
- Schmid, M. & L. Drosner (2014): Energieverbund Zug. Machbarkeitsstudie. Technischer Bericht Seewasser. Eawag im Auftrag von Stadt und Kanton Zug, Kastanienbaum/Schweiz.
- Schmidt, W. (1928): Über die Temperatur- und Stabilitätsverhältnisse von Seen. *Geografiska Annaler* 10, 145-177.
- Shuter, B.J., A.G. Finstad, I.P. Helland, I. Zweimüller & F. Hölker (2012): The role of winter phenology in shaping the ecology of freshwater fish and their sensitivities to climate change. *Aquatic Sciences* 74(4), 637-657.
- Sonnenburg, A. (2023): Einleitbedingungen in Fließgewässern optimieren. Abschlussbericht Teilarbeitspaket 4.4. Projektergebnisse des BMBF-Verbundprojekts KonTriSol. 36 S.
- Souchon, Y. & L. Tissot (2012): Synthesis of thermal tolerances of the common freshwater fish species in large Western Europe rivers. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems* 405, 03.
- Stickler, M. & K.T. Alfredsen (2009): Anchor ice formation in streams: a field study. *Hydrological Processes* 23, 2307–2315.
- UVPg (2021): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. März 2021 (BGBl. I S. 540), das zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 323) geändert worden ist.
- van Treeck, R. & C. Wolter (2021): Temperaturempfindlichkeiten der Fischgemeinschaften in deutschen Fließgewässern – Überprüfung der Orientierungswerte für die Temperatur. Abschlussbericht zum LAWA-Projekt O 10.20 des Länderfinanzierungsprogramms „Wasser, Boden und Abfall“ 2020.
- Vinna, L.R., A. Wüest & D. Bouffard (2017): Physical effects of thermal pollution in lakes. *Water Resour. Res.* 53, 3968–3987.
- WHG (2009): Wasserhaushaltsgesetz vom 31. Juli 2009 (BGBl. I S. 2585), das zuletzt durch Artikel 7 des Gesetzes vom 22. Dezember 2023 (BGBl. 2023 I Nr. 409) geändert wurde.
- Wüest, A. & G. Fink (2014): Potenzial zur Wärme- und Kühlenergienutzung aus dem Vierwaldstättersee. Wärmeentzug (Heizen) und Einleitung von Kühlwasser. Machbarkeit. Eawag im Auftrag der Aufsichtskommission Vierwaldstättersee, Luzern.
- Xia, Z., H.J. MacIsaac, R.E. Hecky, D.C. Depew, G.D. Haffner & R.P. Weidman (2021): Multiple factors regulate filtration by invasive mussels: Implications for whole-lake ecosystems. *Science of the Total Environment* 765, 144435.

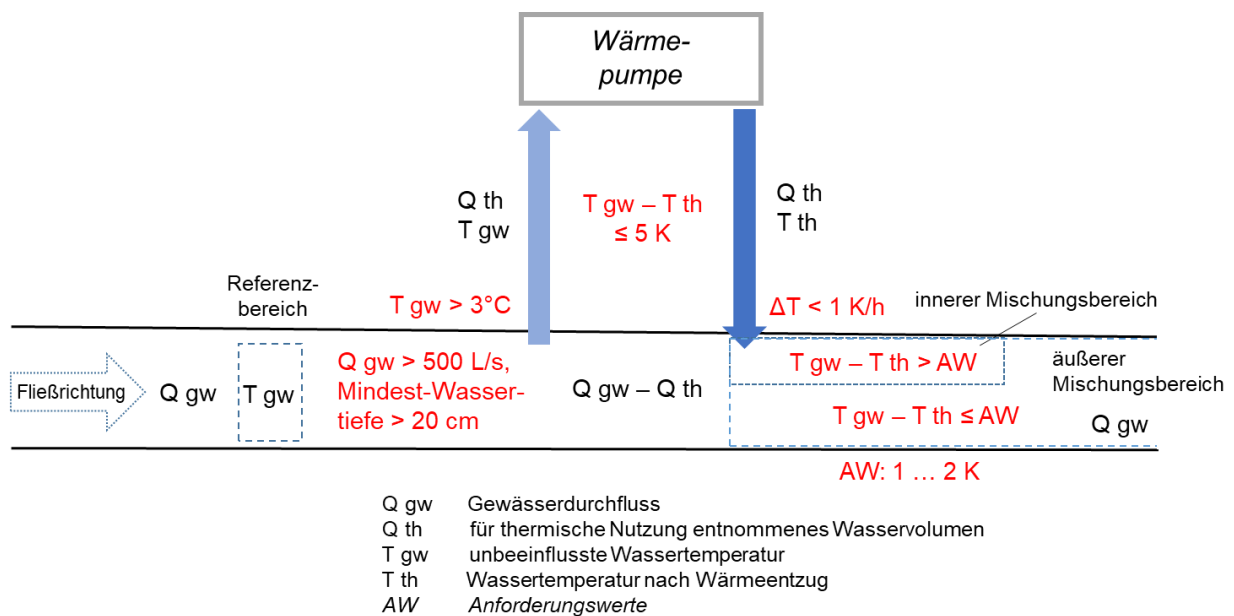
Zessner, M., H. Kroiss & O. Gabriel (2004): Präzisierung von Qualitätszielen im Falle einer Anwendung bei der Einleitung aus Punktquellen. Endbericht. Technische Universität Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Wassergütewirtschaft. 69 S.

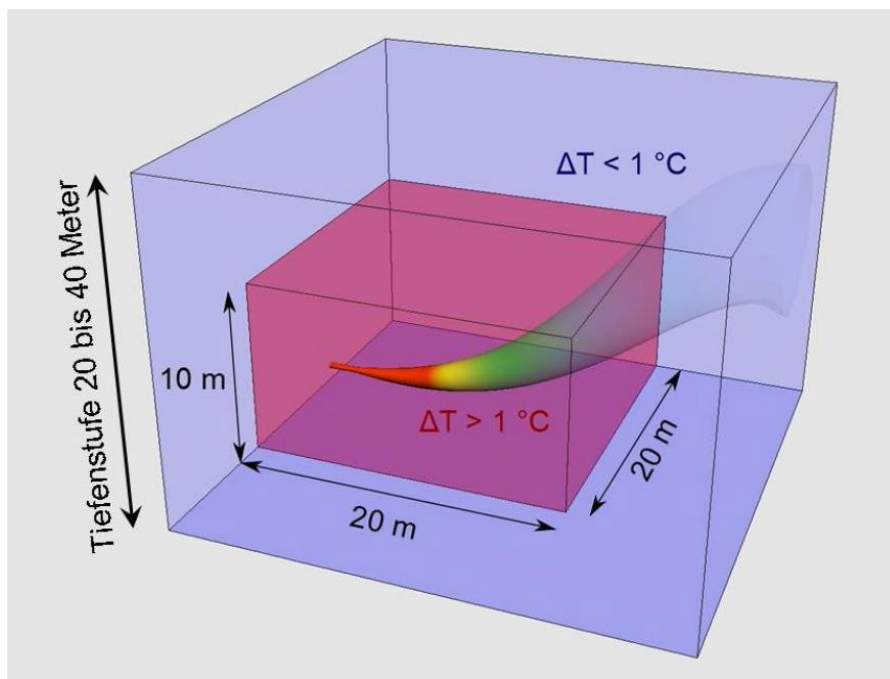
Anhang

Anhang 1

Zusammenfassende Übersicht zu wichtigen gewässerökologischen Anforderungen an die thermische Nutzung von Fließgewässern im Hinblick auf Temperaturverminderungen

(nähere Erläuterungen s. Kap. 3.2)

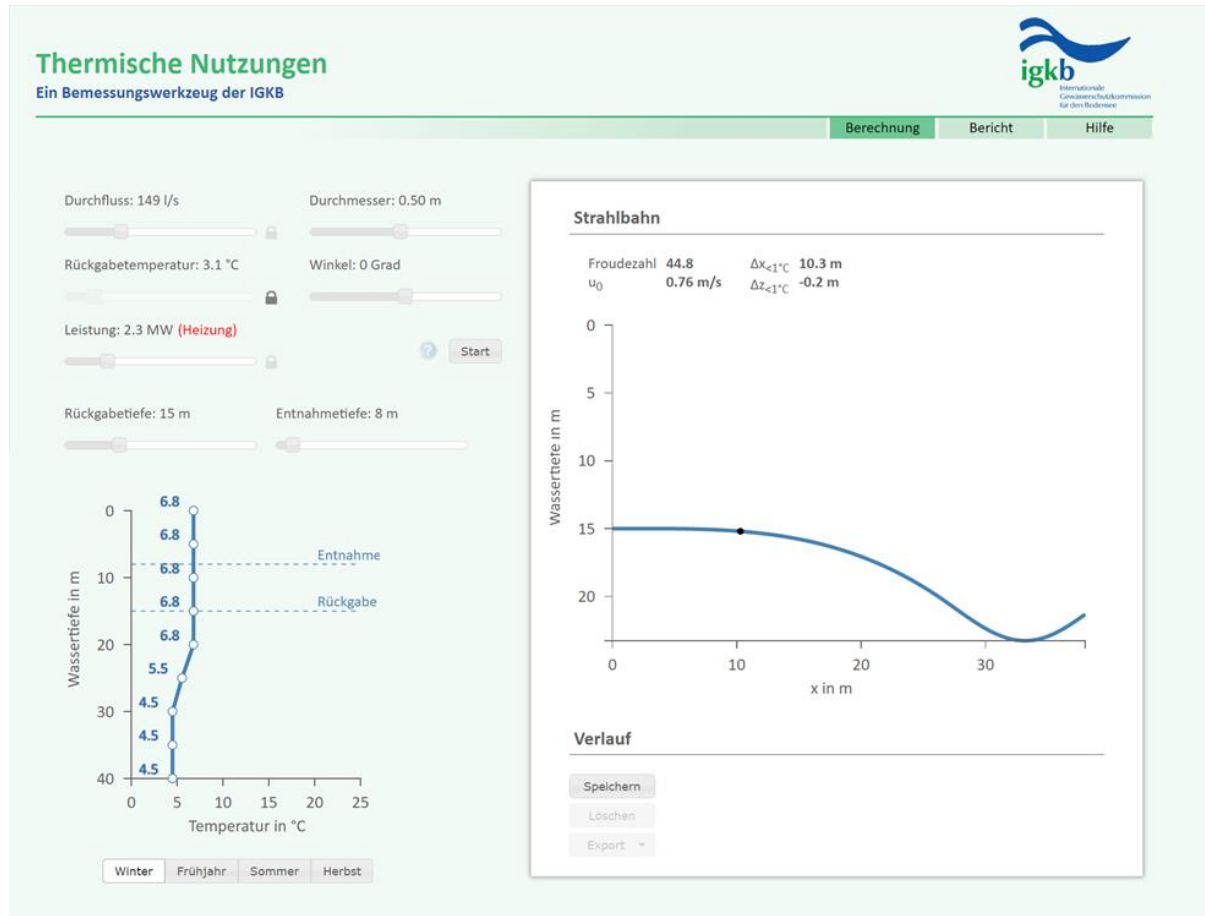


Anhang 2**Mischungszonenabgrenzung für die Einleitung thermisch genutzten Wassers zur Kälte- und Wärmegewinnung aus dem Bodensee**

Quelle: IGKB 2023

Anhang 3

Bemessungswerkzeug der IGKB für die thermische Nutzung von Wasser aus dem Bodensee



Quelle: https://www.h2o-online.com/igkb_therm/igkb_therm_jet.php

Beispiel für die Einmischung thermisch genutzten Wassers während des Winterbetriebs einer Wärmepumpe mit einer Leistung von 2,3 MW bei der Rückleitung in den See. Das Wasser wird bei der zuvor gewählten Temperaturtiefenverteilung dem See aus einer Tiefe von 8 m entnommen und in 15 m Tiefe nach einer Abkühlung um 3,7 K wieder zurückgeleitet. Bei einem Durchfluss von 149 L/s und einem Durchmesser des Rückleitungsrohrs an der Auslassstelle von 0,5 m ergibt sich die grafisch dargestellte Strahlbahn. Die Temperaturdifferenz von 1 K zwischen Seewasser und Rückleitungswasser wird in einem horizontalen Abstand von 10,3 m und mit einer vertikalen Abweichung von -0,2 m vom Auslass unterschritten (schwarzer Punkt auf der Strahlbahn). Die Froudezahl beschreibt das Verhältnis zwischen Impuls und Auftrieb des Rückgabewassers. Um eine gute Durchmischung mit dem Seewasser zu erzielen, sollte sie mindestens 10 betragen.

Anhang 4

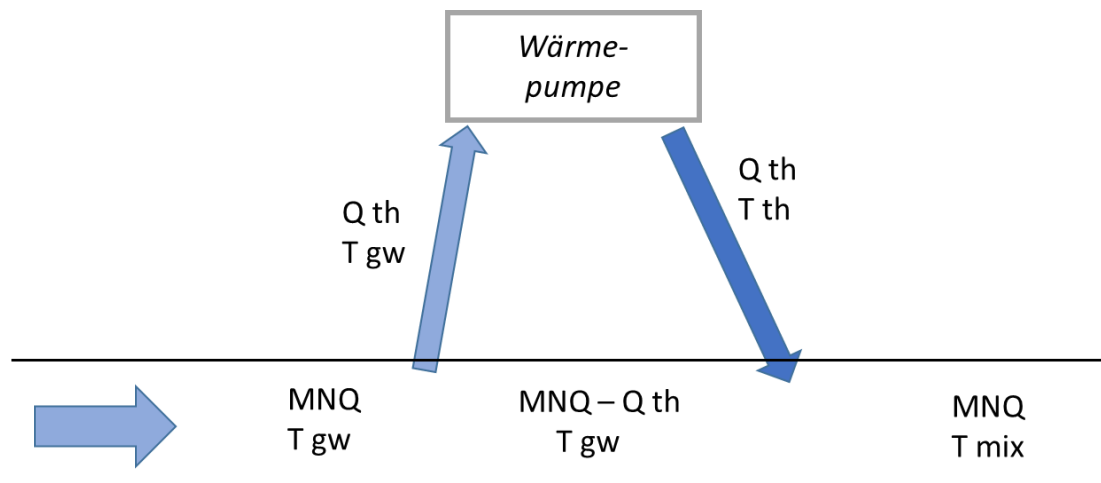
Berechnung der Mischungstemperatur

Die Temperatur nach Durchmischung von thermisch genutztem und im Gewässer verbliebenen Wasserkörper lässt sich für einen bestimmten Durchfluss (z.B. MNQ) berechnen nach

$$T_{mix} = \frac{(MNQ - Q_{th}) * T_{gw} + Q_{th} * T_{th}}{MNQ}$$

mit

MNQ	mittlerer Niedrigwasserabfluss
Q _{th}	für die thermische Nutzung entnommenes Wasservolumen
T _{gw}	unbeeinflusste Gewässertemperatur
T _{th}	Wassertemperatur nach Wärmeentzug
T _{mix}	Gewässertemperatur nach Rückleitung des thermisch genutzten Wassers



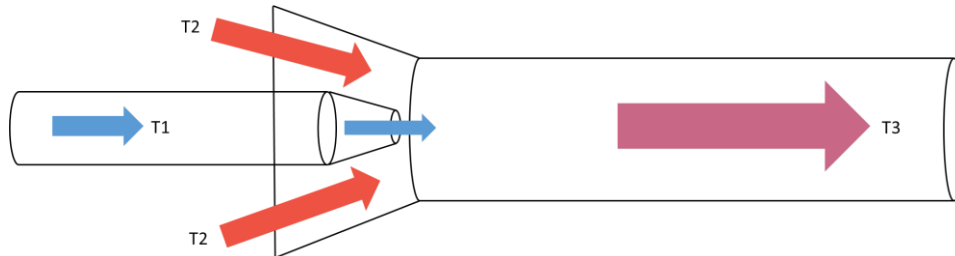
Schema zur Berechnung der Temperatur nach vollständiger Durchmischung von thermisch genutztem Wasser und im Gewässerbett verbliebenen Wasser bei MNQ in Fließgewässern.

Die Temperaturdifferenz zwischen dem oberhalb und unterhalb der Anlage zur thermischen Gewässernutzung gelegenen Bereich in Fließgewässern ergibt sich entsprechend aus:

$$\Delta T = T_{gw} - T_{mix}$$

Anhang 5

Schema eines hydraulischen Mixers



Die Mischungstemperatur am Austritt aus dem Mixer ergibt sich aus

$$T_3 = \frac{(m_1 * T_1) + (m_2 * T_2)}{m_1 + m_2}$$

auf der Basis der Masse des in den Mixer eingeleiteten abgekühlten Wassers (m_1 mit der Temperatur T_1) und der Masse des passiv zuströmenden nicht abgekühlten Wassers (m_2 mit der Temperatur T_2).

Bei einer Temperaturdifferenz von 4 K zwischen dem thermisch genutzten Wasser (T_1) und dem im Gewässer verbliebenen Wasserkörper (T_2) ergibt sich bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 an T_3 eine um 2 K niedrigere Temperatur als im Ausgangswasser, bei einem Mischungsverhältnis von 2:1 liegt die Temperatur um 2,7 K niedriger.