Bachelorarbeit

Studiengang Landschaftsplanung und Naturschutz

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischgemeinschaften der Kinzig und mögliche Anpassungskonzepte

Vorlegt von: Boss, Christoph (9. Fachsemester)

Matrikel-Nr.: 218795

Abgabedatum: 13.12.2022

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen

Fakultät Umwelt Gestaltung Therapie (FUGT)

Prüfer: Prof. Dr. Markus Roehl

Betreuer: Dipl. Biol. Ingo Kramer

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei meinen Betreuern der Bachelorarbeit, Herrn Prof. Dr. Markus Röhl und Herrn Dipl. Biol. Ingo Kramer, für den großartigen Themenvorschlag und die Unterstützung bei der Anfertigung vorliegender Arbeit. Ebenfalls möchte ich mich bei den Angelvereinen für die Bereitstellung der Daten bedanken, ohne wäre diese Ausarbeitung so nicht möglich gewesen.

Bedanken möchte ich mich zudem bei allen, die mich während der Umsetzung dieser Arbeit in irgendeiner Form unterstützt haben. Und ich bitte all jene um Entschuldigung, bei denen ich durch psychische und physische Abwesenheit geglänzt habe.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken für die Unterstützung im Studium.

Danke!

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit ehrenwörtlich:

1. dass ich meine Bachelorarbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt habe

2. dass ich die Übernahme wörtlicher Zitate aus der Literatur sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Ich bin mir im Weiteren darüber im Klaren, dass die Unrichtigkeit dieser Erklärung zur Folge haben kann, dass ich von der Ableistung weiterer Prüfungsleistungen nach § 15 Abs. 4 SPO ausgeschlossen werden und dadurch die Zulassung zum Studiengang verlieren kann.

Nürtingen, den 12.12.2022

_____

Christoph Boss

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung ... 6
1.1 Ausgangslage und Problemstellung ... 6
1.2 Zielsetzung und methodisches Vorgehen ... 7
2 Theoretische Grundlegung ... 8
2.1 Globale Sicht des Klimawandels ... 8
2.2 Klimawandel in Deutschland und Baden-Württemberg ... 10
2.2.1 Das Jahr 2020 in Baden-Württemberg ... 11
2.2.2 Zukunftsszenarien für Baden-Württemberg ... 12
2.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer ... 13
2.3.1 Temperaturregime und Sauerstoffgehalt ... 13
2.3.2 Abfluss ... 16
2.4 Ökologie der Fische ... 17
2.4.1 Allgemein ... 17
2.4.2 Temperaturpräferenzen ausgewählter Arten ... 20
3 Die Kinzig ... 23
3.1 Fische in der Kinzig ... 24
4 Methodik ... 25
4.1 Standorte und Auswertung der Temperaturdaten ... 25
5 Ergebnisdarstellung ... 27
5.1.1 Messstandort Schenkenzell ... 28
5.1.2 Messstandorte Wolfach ... 32
5.1.3 Messstandorte Hausauch ... 40
5.1.4 Messstandorte Offenburg ... 44
5.1.5 Messstandorte Willstätt ... 48
5.1.6 Messstandort Auenheim ... 52
5.2 Zusammenfassende Einordnung der Temperaturwerte im Jahr 2020 ... 55
6 Mögliche Anpassungen und Schutzkonzepte ... 57
6.1 Langfristige Maßnahmen ... 58
6.1.1 In der Fläche ... 58
6.1.2 An den Gewässern ... 58
7 Zusammenfassung und Ausblick ... 60
8 Literaturverzeichnis ... 62
9 Anhang ... 65

Abkürzungsverzeichnis

hmwb ..... *heavily modified waterbody*
IPCC ..... *Intergovernmental Panel on Climate Change*
KLIWA ..... *Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft*
LFVBW ..... *Landesfischereiverband Baden-Württemberg*
nwb ..... *natural waterbody*
OGewV ..... *Oberflächengewässerverordnung*
PKD ..... *Proliferative Nierenkrankheit*
ü. NN ..... *über Normal Null*
WMO ..... *Welt-Meteorologie-Organisation*
WRRL ..... *EG-Wasserrahmenrichtlinie*

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Änderung der globalen Oberflächentemperatur (Jahresmittel) auf Basis menschlicher & natürlicher Prozesse und nur natürlicher Prozesse im Zeitraum 1850-2020 8
Abbildung 2: Die Auswirkungen des Menschen auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre 9
Abbildung 3: Mittlere Wassertemperatur berechnet aus den Tagesmittelwerten der Monate Juli und August im Zeitraum 2000 bis 2020 der Messstationen Karlsruhe und Stuttgart 11
Abbildung 4: Die Tagesschwankungen der Temperatur an 3 unterschiedlichen Fließgewässern 15
Abbildung 5: Simulationsrechnungen für den Gesamtabfluss (relative Änderung) für die Jahre 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleichszeitraum zu 1971-2000 16
Abbildung 6: Lebenszyklus der Forelle. 17
Abbildung 7: Vergleich der Temperaturansprüche von Karpfen und Bachforelle 18
Abbildung 8: Die Fischregionen an Fließgewässern 21
Abbildung 9: Anforderungen an die Temperaturen der Fließgewässer in Abhängigkeit von den Fischgemeinschaften gemäß OGewW, Anlage 7 22
Abbildung 10: Untersuchter Gewässerabschnitt der Kinzig 23
Abbildung 11: Standorte der Datenlogger an der Kinzig und Nebenflüssen 25
Abbildung 12: Temperaturverlauf Schenkenzell 29
Abbildung 13: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.1 33
Abbildung 14: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.2 36
Abbildung 15: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.3 37
Abbildung 16: Temperaturverlauf Hausach, alle Logger 41
Abbildung 17: Temperaturverlauf Offenburg, Nr.3 45
Abbildung 18: Temperaturverlauf Willstätt, alle Logger 49
Abbildung 19: Temperaturverlauf Auenheim 53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: natürliche Einflussfaktoren auf die Temperatur der Fließgewässer 13
Tabelle 2: Zusammenstellung der Temperaturpräferenzen, Maximal- sowie Minimalwerte für ausgewählte Arten 20
Tabelle 3: Einteilung der baden-württembergischen Fließgewässerarten in Bezug auf ihre Temperaturpräferenzen als Grundlage für die Zuordnung der Fischgemeinschaften nach OGewV, Anlage 24
Tabelle 4: Temperaturkennwerte Schenkenzell 28
Tabelle 5: Einordung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Schenkenzell 30
Tabelle 6: Temperaturkennwerte Wolfach Logger Nr.1 32
Tabelle 7: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Wolfach Nr.1 34
Tabelle 8: Temperaturkennwerte Wolfach Nr.2 und Nr.3 35
Tabelle 9: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Wolfach Nr.2 und Nr.3 38
Tabelle 10: Temperaturkennwerte Hausach, alle Logger 40
Tabelle 11: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Hausach 42
Tabelle 12: Temperaturkennwerte Offenburg, alle Logger 44
Tabelle 13: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Offenburg 46
Tabelle 14: Temperaturkennwerte Willstätt, alle Logger 48
Tabelle 15: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Willstätt 50
Tabelle 16: Temperaturkennwerte Auenheim 52
Tabelle 17: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Auenheim 54

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Der menschengemachte Klimawandel ist eine große Herausforderung, jetzt und auch für künftige Generationen. Die Fließgewässer als Ökosysteme bleiben vom Klimawandel nicht verschont. Der Wasserkreislauf wird durch die sich veränderten klimatischen Bedingungen beeinflusst. Sommerliche Niedrigwasserstände und Extremwetterereignisse häufen sich, die Abflussdynamiken verändern sich zunehmend (KLIWA 2017). Seit der Industrialisierung steigen die Temperaturen an Land und im Wasser kontinuierlich an. Im Vergleich zu 1881 sind die Lufttemperaturen in Deutschland um 1,6°C erhöht, damit liegt Deutschland über dem weltweiten Durchschnitt von 1,3°C (Brasseur et al. 2016). Die Temperaturbedingungen in den Gewässern werden für viele Arten bedrohlich. Die mit dem Klimawandel einhergehenden Temperaturveränderungen steuern direkt die Verteilung der Fische an Fließgewässern. Ihre Körpertemperatur wird durch die Umgebungstemperatur bestimmt (Beitinger et al. 2000). Wenn die Fische ins „Schwitzen“ geraten, müssen sie in Lebensräume mit besseren Temperaturbedingungen ausweichen. Hier gibt es bei den Fischarten große Unterschiede. Die Bachforelle (*Salmo trutta fario*), mit einer engen ökologischen Potenz gegenüber Temperaturveränderungen, muss in den Gewässern immer weiter nach oben wandern, um ihre Vorzugstemperaturen zu erreichen. Arten wie der Karpfen (*Cyprinus carpio*) profitieren von den steigenden Temperaturen. Sie ertragen hohe Temperaturen gut und können ihre Lebensräume durch die steigenden Temperaturen immer weiter ausweiten (Küttel et al. 2002). Es ist anzunehmen, dass die Artenzusammensetzungen an den Fließgewässern direkt durch die steigenden Temperaturen verändert wurde und wird. Die Fließgewässer als Lebensadern bilden eine besondere Biodiversität und damit eine große Schutzwürdigkeit ab. In Baden-Württemberg gibt es insgesamt 53 Fischarten. Dabei sind nach Roter Liste Baden-Württemberg (Stand 2014) bereits 10% verschollen, 14% sind vom Aussterben bedroht, 27% sind stark gefährdet, 16% gefährdet oder auf der Vorwarnliste. Lediglich 31% der Arten sind nicht gefährdet (Baer et al. 2014).

In vorliegender Arbeit sollen die Effekte der Temperaturerhöhungen auf die Fischgemeinschaften der Kinzig untersucht werden. Welche Arten werden von den steigenden Temperaturen profitieren und welche Arten werden unter dem Einfluss der steigenden Temperaturen an Lebensräumen verlieren?

1.2 Zielsetzung und methodisches Vorgehen

Da die Temperatur eine wichtige Steuerungsgröße zur Verteilung aquatischer Lebewesen an Fließgewässern darstellt, wurde diese an der Kinzig im Schwarzwald im Jahr 2020 genauer untersucht. Der Landesfischereiverband Baden-Württemberg (LFVBW) bringt in Zusammenarbeit mit den örtlichen Gewässerpächtern, den Angelvereinen, Datenlogger in den Gewässern ein. Diese zeichnen kontinuierlich die Gewässertemperatur auf. Da Fischarten nur in bestimmten Temperaturbereichen leben können, bedingt die Temperatur, neben der Beschaffenheit der Lebensräume, die Verteilung der Fische an Fließgewässern (Melcher et al. 2013). Die Fischarten weisen hier eine unterschiedliche ökologische Potenz auf. Arten wie die Bachforelle (*Salmo trutta fario*) haben eine deutlich geringe Toleranzspanne als andere Fischarten und reagieren besonders sensibel auf Temperaturveränderungen (Küttel et al. 2002).

Die Fließgewässer sind nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) bzw. Oberflächengewässerverordnung (OGewV) in verschiedene Fischgemeinschaften eingeteilt. Diese Fischgemeinschaften definieren sich über den Gewässertyp und die Maximaltemperaturen der Gewässer in der Sommer- und Winterzeit (Basen et al. 2022a). Hierbei erfolgt in der Studie ein Verschnitt zwischen den Temperaturloggern des Landesfischereiverbandes und den Vorgaben der WRRL. Werden die Temperaturwerte in den Sommermonaten überschritten, erfahren die Fische in dieser Fischgemeinschaft bereits limitierende Umweltverhältnisse bezüglich der Wassertemperatur. (Basen et al. 2022a). Zusätzlich werden die Temperaturwerte mit den „Optimalbereichen“ der Leit- und typspezifischen Arten jeder Fischgemeinschaft verglichen. Dieser Schritt soll die Temperaturwerte nochmals artspezifisch untersuchen und die Aussagekraft der Temperaturauswertung erhöhen und ergänzen. Bewegen sich die Temperaturen außerhalb des Optimalbereichs, sind die Fische bereits eingeschränkt und die Temperaturverhältnisse sind als ungünstig zu bewerten. Liegen die Werte außerhalb des Toleranzbereichs, werden letale Temperaturverhältnisse erreicht (LAWA 2021).

Ein Maßnahmenteil soll Möglichkeiten aufzeigen, wie man diesen Effekten entgegenwirken kann und somit die besonders sensiblen Fischarten schützt. Die Gewässerstrukturgütekartierung nach LUBW gibt Aufschluss über die Natürlichkeit der Gewässer bzw. bestehende Defizite der Kinzig. Die Klimaresilienz der Gewässer spielt jetzt und auch in Zukunft eine wichtige Rolle zum Erhalt der Ökosysteme (BAFU 2020). Die Temperaturmessungen haben auf einer Fließgewässerstrecke von ungefähr 74km stattgefunden. Daher kann der Maßnahmenteil nur allgemein formuliert werden, Grundlage zur Bewertung sind zudem die Bewirtschaftungspläne der Kinzig. Bei geplanter Umsetzung von Maßnahmen müssen diese zusätzlich vor Ort plausibilisiert und in einen genauen Ausführungsplan überführt werden.

Folgende Fragen sollen in Rahmen der Thesis beantwortet werden:

- Wie wirken sich die Temperaturen in der Kinzig im Jahr 2020 auf die Fischarten aus?
- Kommt es durch die Temperaturen im Jahr 2020 zu einer Verschiebung der Fischgemeinschaften?
- Welche Möglichkeiten können ergriffen werden, um diesen Effekten entgegenzuwirken?

2 Theoretische Grundlegung

2.1 Globale Sicht des Klimawandels

Das Klimasystem der Erde ist sehr variabel und unterliegt seit Jahrmillionen natürlicherweise schon immer Temperaturschwankungen. Durch verschiedene Techniken – wie z.B. der Eisbohrung – können Temperaturentwicklungen mehrere hunderttausend Jahre zurückverfolgt werden. Die Untersuchung von Eisbohrkernen hat ergeben, dass der CO_2-Gehalt in den vergangenen 400.000 Jahren nie so hoch war wie jetzt. Zudem sind die Temperaturen in der Vergangenheit noch nie so unverhältnismäßig schnell gestiegen wie mit dem Beginn des Industriezeitalters (KLIWA 2017).

Seit circa 1850 finden regelmäßige Temperaturaufzeichnungen statt. Durch diese Aufzeichnungen konnte festgestellt werden, dass sich die Durchschnittstemperatur seit 150 Jahren deutlich erhöht hat. Der starke Anstieg der Temperatur von Landmasse, Ozeanen und der Atmosphäre kann eindeutig auf menschliche Tätigkeiten zurückgeführt werden. Hauptursache dafür ist das beginnende Industriezeitalter mit den damit einhergehenden CO_2-Emissionen (IPCC 2022). Die nachfolgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Temperaturen seit 1850, dargestellt ist die Temperaturentwicklung durch natürliche als auch menschliche Einflussfaktoren – die Differenz dieser beiden Kurven ergibt den Einfluss des Menschen auf das Klimasystem Erde.

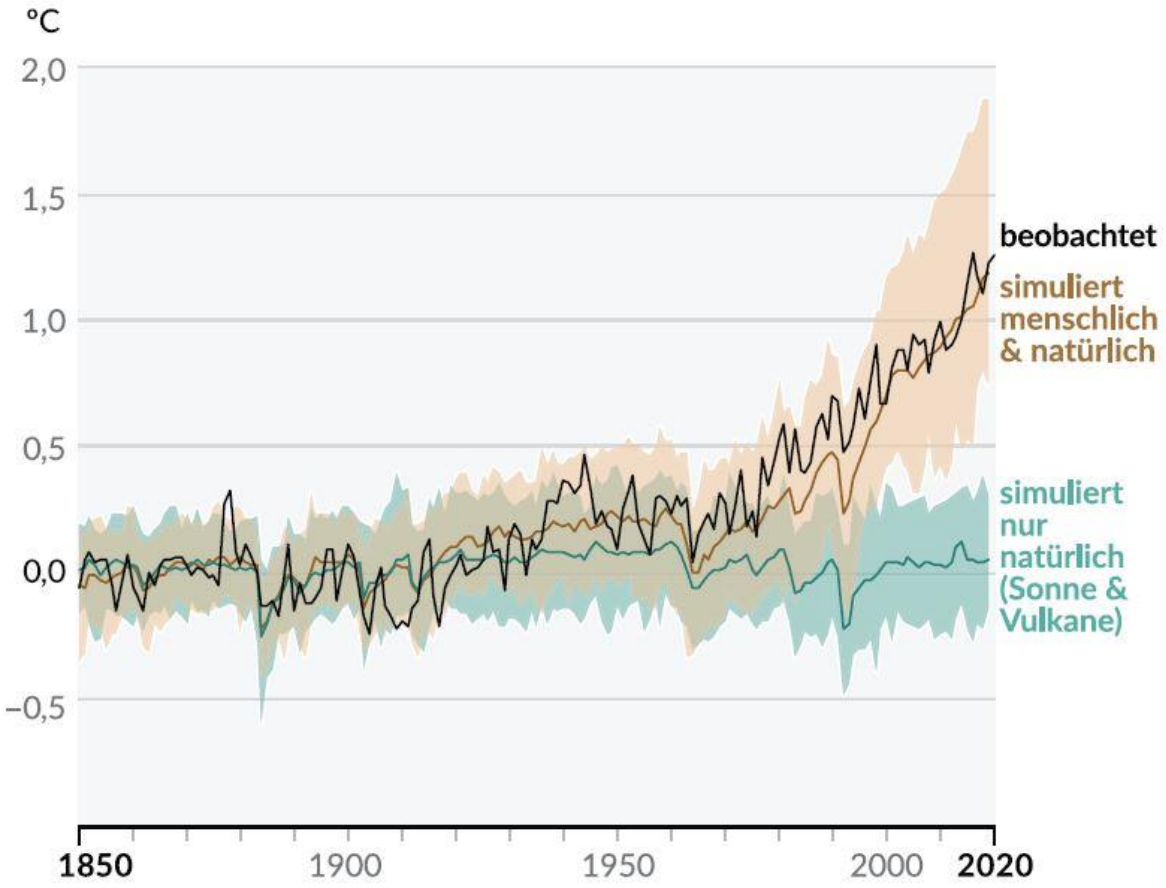


Abbildung 1: Änderung der globalen Oberflächentemperatur (Jahresmittel) auf Basis menschlicher & natürlicher Prozesse und nur natürlicher Prozesse im Zeitraum 1850-2020 (IPCC 2022)

Die Strahlungsbilanz

Der entscheidende Antrieb des Klimas - und damit der Temperatur auf der Erde - ist die Sonneneinstrahlung. Diese ist je nach Ort und Jahreszeit unterschiedlich. Ein Teil der Sonneneinstrahlung wird durch die Wolken, Gase und die Erdoberfläche als kurzwellige Strahlung direkt in die Atmosphäre zurückgestrahlt. Ein großer Anteil der Strahlung wird aber durch die Landmasse, Ozeane etc. absorbiert und führt zu einer Erwärmung. Diese Wärme wird per langwelliger Strahlung wieder langsam an die Atmosphäre abgegeben. Es entsteht ein Gleichgewicht zwischen einfallender und ausgehender Strahlung. Durch den menschlichen Einfluss ist dieses Gleichgewicht gestört, der erhöhte Anteil von Kohlenstoffdioxiden, Wasserdampf und anderen Treibhausgasen hält mehr Wärmestrahlung im System und die Temperaturen steigen. Dies wird als „Treibhausgaseffekt" bezeichnet. Ohne natürliche Treibhausgase würde die Temperatur auf der Erde bei ca. -18° liegen, somit ermöglichen die Gase überhaupt erst ein Überleben auf unserem Planeten. Durch den vermehrten Ausstoß von CO_2-Emissionen übersteigt die Konzentration aber ein gutes Maß und das Strahlungsgleichgewicht auf der Erde ist gestört (Brasseur et al. 2016).

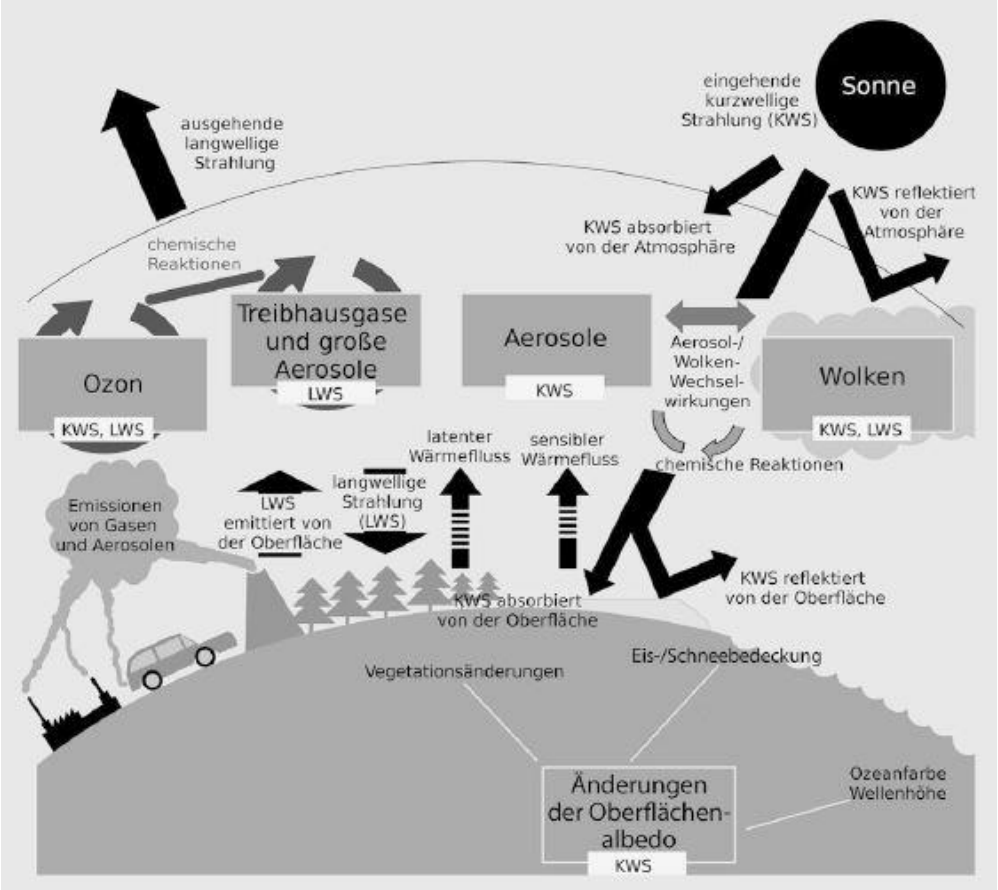


Abbildung 2: Die Auswirkungen des Menschen auf den Strahlungshaushalt der Atmosphäre (Brasseur et al. 2016)

1988 richteten die Vereinten Nationen und die Welt-Meteorologie-Organisation (WMO) den Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) ein, um den drohenden Klimawandel genauer zu untersuchen und mögliche Handlungskonzepte für die Zukunft aufzuzeigen. Zahlreiche Klimamodelle zeigen auf, dass die Durchschnittstemperatur bei anhaltend gleichen $C0_2$-Emissionen steigen wird. Die aktuellen Maßnahmen auf internationaler Ebene reichen nicht aus, um den Klimawandel in den nächsten Jahrzehnten aufzuhalten. Die mittlere globale Oberflächentemperatur hat im Zeitraum von 1880 bis 2020 um mehr als 1,2°C zugenommen (IPCC 2022).

Blick in die Zukunft

Das Klima von Morgen wird durch Klimamodelle abschätzbar. Dabei wird die zukünftige Treibhausgaskonzentration durch verschiedene mögliche Entwicklungen simuliert. Hierbei fließen Faktoren wie das Bevölkerungswachstum, ökonomisches Wachstum, der Einsatz ressourcenschonender Techniken und der generelle Ausstoß von Treibhausgasen in die Modellierung ein. Alle Szenarien prognostizieren einen weiteren Anstieg der Lufttemperatur in der Zukunft, im Worst-Case-Szenario ist in Europa bis 2100 mit einem Temperaturanstieg um 6°C zu rechnen (LUBW 2016).

2.2 Klimawandel in Deutschland und Baden-Württemberg

In der Zeit von 1881 bis 2014 stieg die Temperatur in Deutschland im Jahresmittel um 1,6°C, somit stieg die Lufttemperatur in Deutschland mehr als im globalen Mittel. Dabei waren 9 der 10 wärmsten Jahre seit 18881 nach dem Jahr 2000 aufgetreten (DWD 2021).

Auch Baden-Württemberg bleibt vom Klimawandel nicht verschont. Im Zeitraum von 1901 bis heute hat sich die Jahresmitteltemperatur von rund 8°C auf über 9°C erhöht, dabei ist der höchste Anstieg in den letzten 30 Jahren zu beobachten (LUBW 2016).

Nicht nur die Lufttemperaturen erhöhen sich, auch die Zahl der Hochwasserereignisse und Starkniederschläge im Winter sowie Hitze- und Trockenperioden im Sommer nehmen stark zu. So haben die Starkniederschläge im Winter um 35% zugenommen. Gleiches gilt für Hochwasserereignisse in den letzten 30 Jahren. Sommertage, also Tage an denen die Temperatur 25°C übersteigt, haben von 1935 auf 2009 in Stuttgart um 80% zugenommen. Während die Zahl der Tage ohne Schneedecke in tieferen Regionen um 30-40 Prozent abgenommen hat (DWD 2021).

2.2.1 Das Jahr 2020 in Baden-Württemberg

Für die Ausarbeitung des Themas ist das Jahr 2020 besonders wichtig ist, da alle Temperaturmessdaten an der Kinzig aus diesem Jahr stammen. Daher folgt eine genauere klimatische Einordnung des Jahres 2020.

„Das Jahr 2020 war mit einer Jahresmitteltemperatur von 10,2°C und 2050 Sonnenscheinstunden das zweitwärmste und zweitsonnigste Jahr in Baden-Württemberg seit Beginn der Aufzeichnungen. Die Jahresmitteltemperatur hat sich weiter erhöht und ist jetzt durchschnittlich 1,5°C höher als noch im Jahr 1881. […] Mit Ausnahme der Monate Mai, Juni und Oktober lagen alle Monate mehr als 1°C über den Monatsmittelwerten des Zeitraums 1961-1990, der als internationaler Klimareferenzzeitraum herangezogen wird. […] 2020 war in Baden-Württemberg wiederum ein niederschlagsarmes Jahr, ähnlich wie 2018. Bereits zum dritten Mal in Folge gab es ein außergewöhnlich trockenes und warmes Frühjahr in Baden-Württemberg. Die klimatische Wasserbilanz war 2020 an fünf der sechs betrachteten Standorte für Baden-Württemberg deutlich negativ. […] 2020 war nach 2018 erneut ein Jahr mit einer außergewöhnlichen Niedrigwassersituation der Fließgewässer. Zeitweise befanden sich 75% der Kennwertpegel gleichzeitig im Niedrigwasser. In Bezug auf Hochwasser war 2020 eher ein ruhiges Jahr ohne extrem hohe Pegelstände.“ (LUBW 2021)

Der Bericht der LUBW trifft auch explizite Aussagen zur Fließgewässerökologie des Jahres 2020. Für den Zeitraum 2000 bis 2020 sind in nachfolgender Abbildung die mittleren Wassertemperaturen der Monate Juli und August (in °C) angegeben. Hier zeigt sich, dass 2020 keinen Sonderfall darstellt. Im Beobachtungszeitraum 2000-2019 war die mittlere Wassertemperatur am Rhein in Karlsruhe in 5 Jahren höher als im Jahr 2020. Die Entwicklung der Wassertemperaturen ist von vielen Parametern abhängig und kann nicht direkt auf die Kinzig angewendet werden, gibt aber eine Orientierung. Viele Einflussgrößen bestimmen die Gewässertemperatur und ist von Gewässer zu Gewässer unterschiedlich (näheres dazu im Kapitel „Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer“). Das Jahr 2020 gehört zu den zehn heißesten gemessenen Jahren seit Beginn der Aufzeichnungen (LUBW 2021). 2020 war ein sehr warmes, sonnenintensives und niederschlagsarmes Jahr und kann somit einen guten Einblick in das neue Normal der Zukunft geben.

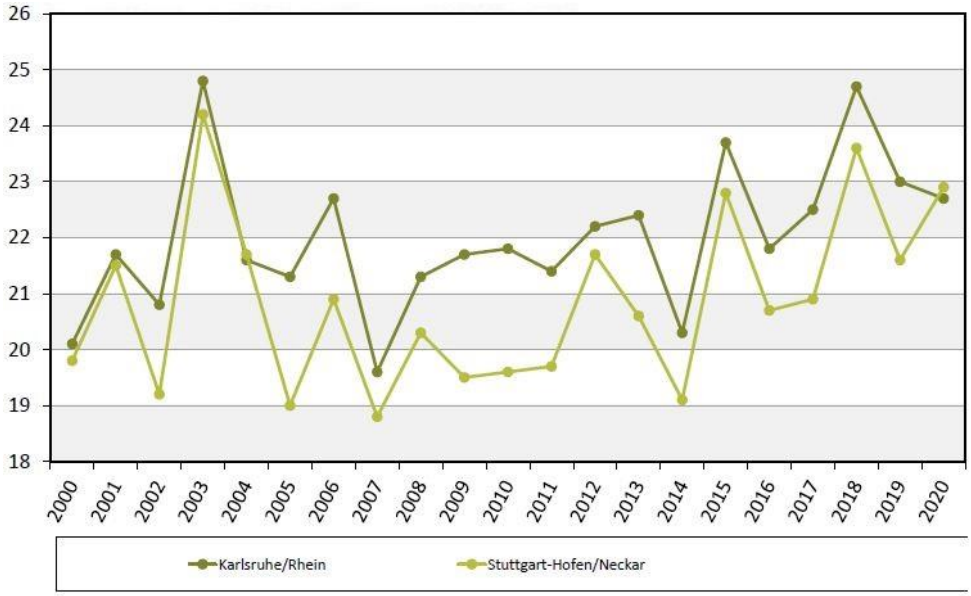


Abbildung 3: Mittlere Wassertemperatur berechnet aus den Tagesmittelwerten der Monate Juli und August im Zeitraum 2000 bis 2020 der Messstationen Karlsruhe/Rhein und Stuttgart-Hofen/Neckar (LUBW 2021)

2.2.2 Zukunftsszenarien für Baden-Württemberg

Für Baden-Württemberg werden Klimasimulationen in höherer Auflösung erstellt, um regionale Aussagen über die mögliche zukünftige Entwicklung des Klimas treffen zu können. Insgesamt gibt es für Baden-Württemberg 29 verschiedene Klimaprojektionen, die in einer Arbeit der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz analysiert und zusammengefasst werden. Die Projektionen beziehen sich auf die Zeiträume 1971-2000 (Ist-Zustand), 2021-2050 (nahe Zukunft) sowie 2071-2100 (ferne Zukunft) (LUBW 2013).

Für die Lufttemperatur wird in naher Zukunft (2021-2050) ein Anstieg von 0,7°C bis 2,1°C prognostiziert. Der Median aller analysierten Klimaprojektionen entspricht einem Temperaturanstieg von +1,1°C und einer mittleren Jahrestemperatur von 9,7°C. Für die ferne Zukunft (2071-2100) sind deutliche Temperaturzunahmen zu erwarten, der Median aller Temperaturmodellierungen liegt bei +3,1°C auf eine mittlere Jahrestemperatur von 11,5°C (LUBW 2013).

Der Klimawandel ist weiterhin gekennzeichnet durch einen Anstieg der Tage mit Extremtemperaturen. Im Beobachtungszeitraum 1971-2000 lag die Zahl der Sommertage laut Beobachtungsdaten bei 30 Tagen im Jahr. Für die nahe Zukunft (2021-2025) wird im Mittel aller Klimamodelle eine Zunahme von 10,1 Tagen prognostiziert, während für die ferne Zukunft (2071-2100) eine Zunahme von 32,3 Tagen vorausgesagt wird. Sommertage definieren sich über eine Tagesmaximumtemperatur von mindestens 25°C. Die Anzahl der Frosttage (Tagesminimum unter 0°C) für den Ist-Zustand liegt bei 97 Tagen, für die nahe Zukunft bei 19 Tagen weniger, für die ferne Zukunft werden sogar 47 Tage weniger prognostiziert (LUBW 2013).

In der nahen Zukunft nehmen die Niederschläge um 7,1% zu, in der fernen Zukunft um 15,9%. Für das hydrologische Winterhalbjahr (November-April) werden Abnahmen um 0,7% (nahe Zukunft) und 9,4% (ferne Zukunft) angenommen. Die Klimamodellierungen zu den Niederschlagssummen unterliegen einer starken Streuung und sind mit Vorsicht zu behandeln (LUBW 2013).

Es wird deutlich, dass sich unser Klimasystem bereits jetzt drastisch verändert hat und sich zukünftig weiter verändern wird. Die Anzahl an winterlichen Hochwässern und Trockenperioden mit Niedrigwasserständen im Sommer nimmt weiter zu. Die Temperaturen werden auch zukünftig weiter steigen.

2.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Fließgewässer

2.3.1 Temperaturregime und Sauerstoffgehalt

Auch die Temperatur in Gewässern wird zukünftig steigen

Die Zunahme der Lufttemperatur führt zu einer Erwärmung der Wasserkörper (DFV 2019). Hier besteht eine enge Verknüpfung, da beide von denselben Energieströmen beeinflusst werden (Keiz et al. 2015). Der Austausch von Energie über lang- und kurzwellige Strahlung findet vor allem an der Grenzschicht zwischen Wasser und Luft statt. Neben anthropogenen Einflüssen wie der Einleitung von Kühlwasser oder wasserbaulichen Anlagen ist die Wassertemperatur vorwiegend durch die sich verändernden atmosphärischen Bedingungen beeinflusst und wird weiter steigen. In Tabelle 1 sind alle Einflussfaktoren auf die Gewässertemperatur dargestellt. Die Gewichtung der Einflussfaktoren ist in einem so komplex-dynamischen System schwierig. Diese hängen von der Topografie, Fließgewässertyp und Fließgewässerabschnitt ab und sind unterschiedlich. Der Strahlungsbilanz und Lufttemperatur wird allgemein der größte Einfluss zugewiesen (Haag 2009). So wurde in einer Studie an Fließgewässern in England festgestellt, dass die Strahlungsbilanz für bis zu 85% der Energiezunahme und 27% der Energieverluste verantwortlich ist. Die Verdunstung war an diesen Gewässern zu 40% für den Energieverlust verantwortlich. Verdunstung tritt v.a. durch direkte Sonneneinstrahlung auf. (Webb und ZHANG 1997).

Tabelle 1: natürliche Einflussfaktoren auf die Temperatur der Fließgewässer (Reinartz 2007)

Einflussfaktoren auf die Gewässertemperatur			
Topografie	Atmosphärische Bedingungen	Gewässerbett	Abflussbedingungen
• Beschattung • Ufervegetation • Geologie • Himmelsrichtung • Höhe über NN • Geografische Breite	• **Sonneneinstrahlung** • **Lufttemperatur** • Windgeschwindigkeit • Luftfeuchtigkeit • Niederschläge • Verdunstung	• Wärmeleitung • Grundwasserzufluss • Hyporheische Austauschprozesse	• Reibung • Wasservolumen • Gefälle • Turbulenz • Zu- und Ablauf

Im weiteren Teil der Ausarbeitung werden vor allem die sich ändernden klimatischen Bedingungen ins Auge gefasst. Im Maßnahmenteil ist das Feld an betrachteten Einflussfaktoren dann wieder weiter gespannt, da die Temperaturverhältnisse der Gewässer durch die Verbesserung der Einflussfaktoren zum Positiven verändert werden kann. Ein gutes Beispiel hierfür ist der positive Einfluss einer standortgerechten Ufervegetation auf die Wassertemperatur (BAFU 2020).

Die längszonale Einteilung nach Temperaturgradienten

Die Lufttemperatur und damit auch die Wassertemperatur steigt mit zunehmender Lauflänge des Gewässers von der Quelle bis zur Mündung an. In quellnahen Abschnitten ist die Gewässertemperatur vor allem durch die Quellschüttung definiert, die Temperatur des Wassers entspricht der Temperatur des Grundwassers und bewegt sich somit in etwa bei der mittleren Jahreslufttemperatur. Die Temperatur unterliegt jahreszeitlich nur geringen Schwankungen, im Vergleich zur vorherrschenden Temperatur sind die Gewässer dann „sommerkalt“ oder „winterwarm“. Schon nach kurzer Zeit nähert sich die Wassertemperatur immer mehr den monatlichen mittleren Lufttemperaturen an, wobei nie ein komplettes Gleichgewicht entsteht (Crisp und Howson 1982).

Der Einfluss „äußerer“ Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Beschattung und Niederschlägen nimmt flussabwärts immer weiter zu, die Temperaturamplitude unterliegt hier deutlich höheren (Tages)-Schwankungen, ganz unten flacht die Temperaturamplitude wieder ab. Dieses Prinzip unterscheidet sich bei großen und kleinen Bächen in der Zunahme der Temperaturen je Kilometer Fließstrecke. Kleine Fließgewässer nehmen deutlich schneller an Temperatur zu, als dies große Fließgewässer tun. Während die Zunahmerate bei kleinen Gewässern etwa 0,6°C pro Kilometer entspricht, kann bei größeren Gewässern lediglich ein Wert von 0,09°C pro Kilometer festgestellt werden. Die Wasseroberfläche nimmt mit Entfernung zur Quelle in der Regel weiter zu, der Wärmeaustausch zwischen Luft und Wasser vergrößert sich und eine Angleichung an die Umgebungstemperatur findet statt. Die geringeren Zunahmeraten der Temperatur bei größeren Gewässern ist auf das erhöhte Wasservolumen zurückzuführen, zudem kühlen große Wasserkörper durch Verdunstung ab. Im Gegensatz dazu kann ein kleiner Wasserkörper im Oberlauf schnell durch Strahlung erwärmt werden (Mosley 1983).

Durch die im Fließgewässer vorherrschenden Turbulenzen und Verwirbelungen hat der gesamte Wasserköper meist eine einheitliche Temperatur. Eine vertikale Schichtung der Temperaturgradienten ist nur bei Stauhaltungen oder besonders strömungsarmen Bereichen anzutreffen, dort ist die Fließgeschwindigkeit so weit reduziert, dass vertikale Schichtungen eintreten, wie sie bei Stillgewässern üblich sind. Daher werden Fließgewässer in ihrem Temperaturverlauf längszonal von Quelle bis zur Mündung eingeteilt (Reinartz 2007).

Schwankungen im Tagesgang

Die in Tabelle 1 dargelegten Einflussfaktoren bedingen die Wassertemperatur, sowohl jahreszeitlich als auch im Verlauf des Tages. Im Vergleich werden nun die Tagesgänge (Temperatur) von 3 unterschiedlichen Gewässern dargestellt. Der Lunzer Seebach wird dem Oberlauf des Gewässers mit geringem Wasserkörper zugerechnet. Bedingt durch die vorhandene Beschattung und Quellwasserbeeinflussung unterliegt die Tagesamplitude nur mittleren Schwankungen (ca. 2°C) im Tagesverlauf. Die Melk stellt hier ein Gewässer im Mittelauf mit schlechter Beschattung dar, die Schwankungen im Tagesgang betragen beinahe 10°C. Die Donau stellt in diesem Abschnitt einen Fluss im Unterlauf mit mächtigem Wasserkörper und entsprechender Wärmekapazität dar. Die Schwankungen der Gewässertemperatur im Tagesverlauf liegen hier bei lediglich ca. 1 °C (Jungwirth et al. 2003).

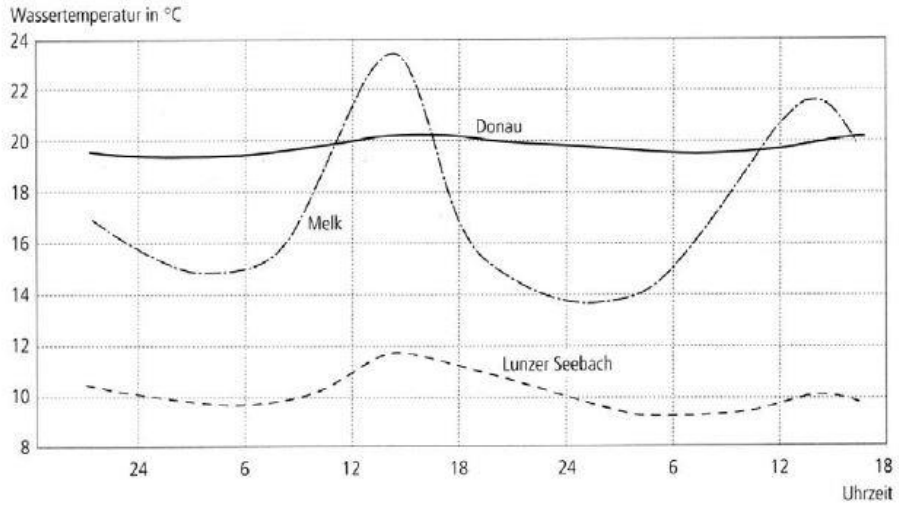


Abbildung 4: Die Tagesschwankungen der Temperatur an 3 unterschiedlichen Fließgewässern (Jungwirth et al. 2003, S. 35)

Hohe Temperaturen, wenig Sauerstoff

Die Verfügbarkeit von gelöstem Sauerstoff ist Grundbedingung zum (Über)leben der meisten aquatischen Organismen. Eingetragen wird der Sauerstoff primär über den Austausch mit der Atmosphäre. Das turbulente Wasser schließt O_2 aus der Luft mit ein. Zusätzlich wird tagsüber Sauerstoff über Photosynthese gewonnen. Auf der anderen Seite wird Sauerstoff verbraucht. Hohe Nährstofffrachten beeinflussen die Verfügbarkeit von Sauerstoff, die Destruenten verbrauchen Sauerstoff zum Abbau von organischem Material. (Piatka et al. 2022).

Die Wassertemperatur steht in enger Verbindung mit der Sauerstoffkonzentration der Gewässer. Jedes Gas im Wasser besitzt einen bestimmten Lösungskoeffizienten, die Löslichkeit nimmt mit zunehmender Temperatur und Dichte ab. Während im Oberlauf der Gewässer die Sauerstoffsättigung hoch ist, nimmt sie flussabwärts immer weiter ab. Bedingt ist dies durch die erhöhten Temperaturen, die vermehrten Nährstoffe und die geringere Verwirbelung des Gewässerkörpers (Piatka et al. 2022).

Das Temperaturregime und die damit verbundene Sauerstoffkonzentration haben großen Einfluss auf die Verteilung aquatischer Lebewesen an Fließgewässern. Im Kapitel „Ökologie der Fische“ folgt eine genauere Einordnung, was die sich verändernden Bedingungen für die Fischwelt zur Folge haben.

2.3.2 Abfluss

Die veränderten Niederschlagsmuster und Trockenperioden haben andere Abflussganglinien an Fließgewässern zur Folge. Durch die trockeneren und wärmeren Sommer sinken die Pegelstände weiter. In einer auf Baden-Württemberg und Bayern basierenden Auswertung nehmen die sommerlichen Niedrigwasserstände um 15% zu (Verleichszeitraum 1951-2015), hier vor allem in den Monaten Juni bis Oktober. Hochwasserereignisse in den Wintermonaten nehmen signifikant zu. Die vermehrten Niederschläge im Winter führen zu winterlichen Hochwässern (KLIWA 2017).

Die Gewässerkörper werden im Sommer also aufgrund von geringen Niederschlägen und hoher Verdunstung weiter an Volumen abnehmen, dadurch steigen die Temperaturen in den Gewässern weiter an. Die Lage an den Fließgewässern wird sich dadurch weiter zuspitzen

Die winterlichen Hochwässer können wassergefährdende Stoffe eintragen, zudem werden Nährstoffe und andere bakterielle Verunreinigungen in die Gewässer eingetragen. Kleine Hochwässer sind positiv zu werten, durch dynamische Umlagerungsprozesse wird Feinsediment abtransportiert und neue Strukturen entstehen. Starke Hochwässer (besonders in anthropogen veränderten Fließgewässern) haben nachteilige Wirkungen auf die aquatischen Lebewesen. Durch das Hochwasser findet eine Verdriftung der Fischbrut und auch teilweise der Fische in andere Gewässerabschnitte statt. Bedingt durch die fehlende Durchgängigkeit der Gewässer finden die Fische nicht mehr in die für sie geeigneten Lebensräume zurück (Keiz et al. 2015).

Der Abfluss eines Gewässers hat somit sehr großen Einfluss auf die aquatischen Lebewesen. Durch Abflussdefizite und kurzzeitige Hochwässer entfallen wichtige (Brut-)Habitate zeitweise. Ein Klimamodell der Arbeitsgemeinschaft „Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft“ (KLIWA) stellt den zukünftigen wahrscheinlichen Gesamtabfluss für Bayern, Baden-Württemberg und Rheinland-Pfalz für die Jahre 2021-2050, sowie 2071-2100 dar. Die Abbildung bezieht sich auf den Gesamtabfluss eines Jahres, durch die Abnahme der Sommerniederschläge und die Zunahme im Winter entsteht für die Region um die Kinzig eine fast gleichbleibende Wasserbilanz in den Jahren 2021 bis 2050. Für 2071-2100 wird nach dem Klimamodell WETTERREG2006 eine negative Gesamtabflussbilanz von -5% bis -10% im Vergleich zum Referenzzeitraum 1971-2000 prognostiziert. Die Gesamtabflusshöhe ist die Wasserbilanzkomponente aus der Differenz zwischen Niederschlag und tatsächlicher Verdunstung (KLIWA 2012, S. 51–54).

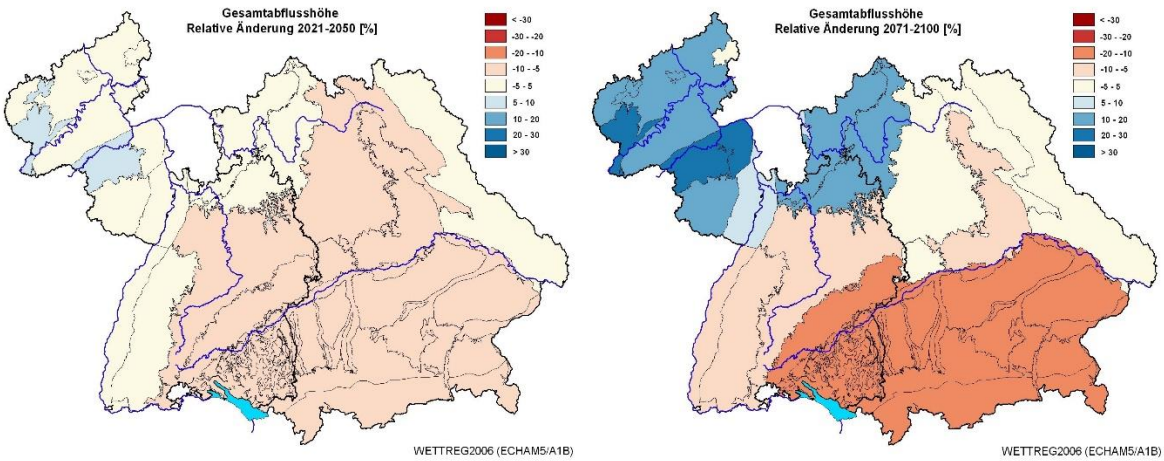


Abbildung 5: Simulationsrechnungen für den Gesamtabfluss (relative Änderung) für die Jahre 2021-2050 und 2071-2100 im Vergleichszeitraum zu 1971-2000 (KLIWA 2012, S. 51–54)

2.4 Ökologie der Fische

2.4.1 Allgemein

Lebenszyklus der Fische

Der Lebenszyklus der Fische ist nachfolgender Abbildung zu entnehmen, exemplarisch für die Bachforelle dargestellt. Der Zyklus kann auf alle in Baden-Württemberg vorkommende Fischarten angewandt werden. Unterschieden wird hierbei in Frühjahr-, Sommer-, Herbst- und Winterlaicher, damit ist der Zeitpunkt der Fortpflanzung gemeint. Allgemein findet die Fortpflanzung durch äußere Befruchtung der Eier statt. Das Weibchen legt die Eier im Freiwasser, Kies oder auf Wasserpflanzen ab und das Männchen ergibt seine milchige Samenflüssigkeit über die Eier. Die Spermien dringen in die Eier ein und befruchten diese. Zunächst entwickelt sich ein Embryo, welcher sich meist nach wenigen Tagen zur Fischlarve entwickelt. Aus der Fischlarve wird schließlich der Jungfisch mit Dottersack. Der Dottersack dient der Versorgung mit wichtigen Nährstoffen. Nach mehreren Jahren entwickelt sich aus dem Jungfisch ein ausgewachsenes, geschlechtsreifes Exemplar (Jungwirth et al. 2003).

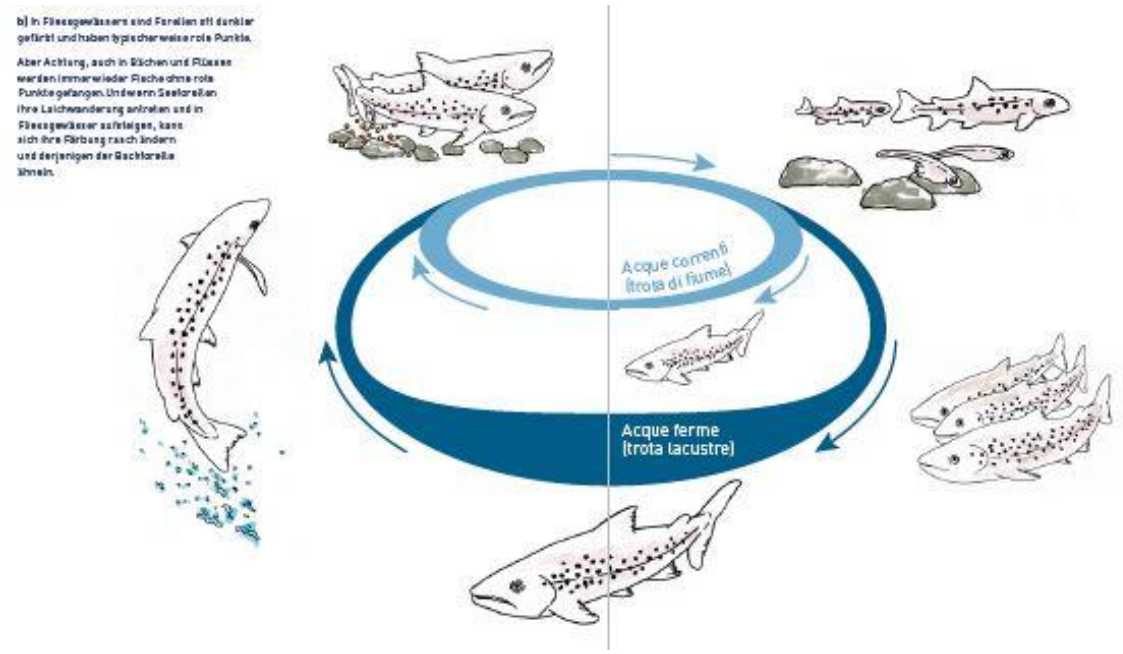


Abbildung 6: Lebenszyklus der Forelle (FIBER 2018).

Die Temperatur als Einflussfaktor

Die Temperatur der Fließgewässer hat Einfluss auf alle in ihm lebenden Organismen. Fische als poikilotherme (wechselwarme) Tiere können ihre Körpertemperatur nicht eigenständig regulieren, die körpereigene Temperatur wird maßgeblich über die Umgebungstemperatur bestimmt und entsteht primär über den Austausch von Wärme zwischen Wasser und Körperoberfläche (Beitinger et al. 2000). Daher stellt sie einen Schlüsselfaktor bei der bei Verteilung aquatischer Lebensgemeinschaften dar. Die Wassertemperatur bestimmt über die Zusammensetzung und den gesundheitlichen Zustand der Zönosen, der gesamte Lebenszyklus ist durch die Temperaturen beeinflusst (CAISSIE 2006). Die Temperaturen haben einen großen Einfluss auf die Aktivität, Wachstum und das Wanderungsverhalten. So gilt die Temperatur als Orientierungspunkt für z.B. das Abwandern der Fische in ihre Laichgebiete. In unterschiedlichen Lebensphasen suchen die Arten sich den für das Entwicklungsstadium passenden Temperaturbereich in verschiedenen Habitaten auf, das ist wichtig für die nachhaltige Entwicklung von Populationen (Melcher et al. 2013). Darüber hinaus steuert die Wassertemperatur direkt die Laichzeitpunkte der Fische. Auch die Entwicklung der Eier, deren Größe, sowie Wachstum und Überlebenswahrscheinlichkeit sind davon abhängig (LAWA 2021).

Nach FRY (1979) hat die Temperatur viele Auswirkungen auf die aquatischen Lebewesen:

- Als Faktor der zum Tod führen kann
- Als kontrollierender Faktor (z.B. Regulierung der Stoffwechselrate durch Wirkung auf die Aktivität von Enzymen)
- Als limitierender Faktor (z.B. Wirkung auf Abfluss von Stoffen im Stoffwechsel)
- Als maskierender Faktor (Beeinflussung der Wirkung anderer Faktoren, wie z.B. Gifte)
- Als leitender Faktor (z.B. Ausweichen in andere Bereiche wegen hohen Temperaturen)

Die Fische haben also eine festgelegte Temperaturspanne innerhalb der ein (Über-)Leben möglich ist. Die auftretenden Schwankungen in der Temperatur, Maximal- sowie Minimaltemperaturen und die Dauer der Temperaturveränderungen sind ausschlaggebend für das Vorkommen und Bestandsbildung bestimmten Arten und Artgemeinschaften. Hohe Temperaturschwankungen im Tagesgang bedeuten zusätzlichen Stress für viele aquatische Lebewesen (Reinartz 2007). In Europa werden die Fischarten grob in Kaltwasserfischarten (oglio-stenotherm) und Arten die an ein warmes Temperaturspektrum (meso-eurytherm) angepasst sind eingeteilt. Erstere sind an enge Optimal- und Toleranzbereiche angepasst und bewegen sich immer im kühlen Temperaturbereich, während die wärmeliebenden Arten ein breiteres Temperaturspektrum aufweisen. Bei den meso-eurythermen Arten sind je nach Entwicklungsstadium sehr unterschiedliche Temperaturen erforderlich, so brauchen sie im Frühjahr bestimmte Minimaltemperaturen für eine erfolgreiche Reproduktion, während im Winter die benötigten Temperaturen eher den Werten der kälteliebenden Arten entsprechen (Müller und Bährmann 1991).

Besonders in frühen Entwicklungsstadien (Embryonal- und Larvalphase) sind alle Arten sehr viel temperatursensibler als ältere Tiere. Die ertragbare Temperaturspanne zwischen letaler Unter- und Obergrenze liegt bei Larven und Jungfischen bei 20-25 °C, während für die Embryonen durchschnittlich eine Temperaturspanne von 11,6 °C erreicht wird. Die Tage, an denen die Temperaturen die Maximalwerte überschreiten ist ein ausschlaggebender Faktor für die Verbreitung der Arten (Reinartz 2007). Nachfolgende Abbildung stellt die Temperaturpräfenzen von Karpfen (*Cyprinus carpio*) und der Bachforelle (*Salmo trutta fario*) dar. Hier zeigen sich die unterschiedlichen Temperaturspannen. Der Karpfen wird den meso-eurythermen Arten zugeordnet, die Bachforelle den oglio-stenothermen Arten (Langford 1990).

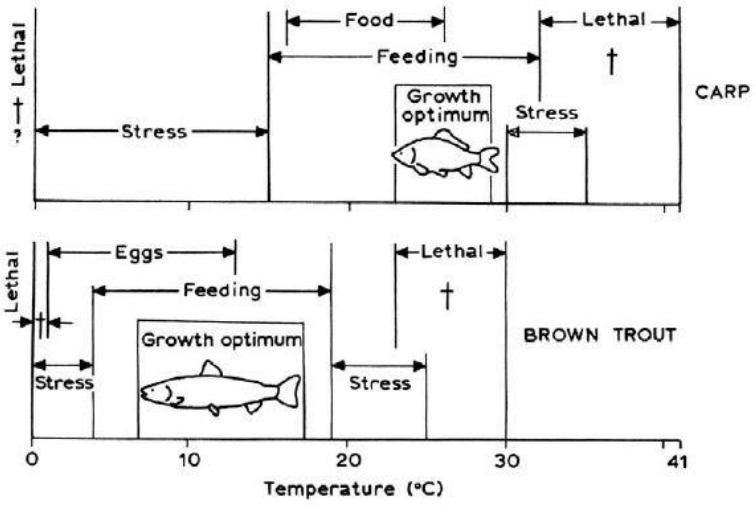


Abbildung 7: Vergleich der Temperaturansprüche von Karpfen und Bachforelle (Langford 1990)

Bei zunehmenden Wassertemperaturen sinkt die Sauerstoffkonzentration bzw. -verfügbarkeit. Zeitgleich steigt der Bedarf der Fische an Sauerstoff, da die Stoffwechselraten durch die erhöhten Temperaturen steigen. Die Erhöhung der Wassertemperatur um 10°C führt allgemein zu einer Verdopplung der biologischen Aktivität (Van´t Hoffsches-Gesetz). Dies führt zu hohen Mortalitätsraten und Verlust von Lebensräumen in den Sommermonaten, da die Nahrungsaufnahme ab einer gewissen Temperatur eingestellt wird, während die biologische Aktivität weiter steigt. Ab einer gewissen Temperatur arbeitet der Metabolismus so schnell, dass Fettreserven aufgebraucht werden. Das Defizit kann über Nahrungsaufnahme nicht mehr kompensiert werden. Steigen die Temperaturen noch weiter verändert der Fisch sein Verhalten. Es treten Phasen erhöhter Aktivität auf, die sich mit Phasen der Lethargie abwechseln. Schlussendlich kollabiert zuerst die Schwimmmuskulatur, gefolgt von Atmungsapparat und dem Herz. Bedingt sind diese Versagensabläufe durch ein Zusammenbrechen des Nervensystems, welches am empfindlichsten auf hohe Temperaturen reagiert (Brett 1956).

Bedingt durch die höheren Temperaturen erfahren die Fische zusätzlichen Stress. Dieser Stress führt zu einer Schwächung des Immunsystems, dadurch werden die Fische anfälliger für Krankheiten und Parasitosen. Ein Beispiel hierfür ist die Proliferative Nierenkrankheit (PKD). Davon betroffen sind Bachforellen. Erst ab einer Temperatur von 12°C kommt es zu Symptomen. Übersteigen die Temperaturen in einem Zeitraum von 2 bis 3 Wochen 15°C erhöht sich die Mortalitätsrate signifikant (Keiz et al. 2015)

2.4.2 Temperaturpräferenzen ausgewählter Arten

Je nach Lebensstadium (Eier, Juvenil, Adult und Fortpflanzungszeit) ergeben sich unterschiedliche Temperaturpräferenzen. Dafür wurden in einer Schweizer Literaturstudie Daten aus internationaler Fachliteratur ausgewertet. Da die Daten aus vielen Ländern zusammengetragen wurden ist die Anwendbarkeit auf regionale Gewässer mit Vorsicht zu genießen. Die Daten ergeben aber einen ersten Orientierungswert und machen eine grobe Einordnung möglich. Zusätzlich wurden die Daten nach dem Temperaturmodell „TemFi“ der Fischereiforschungsstelle Langenargen sowie nach dem Dokument „Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken – Anforderungsprofile von Indikator-Fischarten“ (LUBW 2005) ergänzt. Regionalisierte Daten wurden stets Daten aus anderen Ländern vorgezogen. Für die Feststellung der tatsächlichen Temperaturpräferenzen müssten eigenständige Untersuchungen der Temperaturspanne der genetisch angepassten Arten vor Ort vorgenommen werden. Nicht für alle Arten gibt es für alle Entwicklungsstadien Temperaturdaten, da bisher nicht genug Forschung dazu betrieben wurde. Für die Fortpflanzungszeit gibt es für alle Arten Daten, da diese Angaben meist von besonderem Interesse sind. Sie bilden die „wirklichen“ ökologischen Ansprüche der Arten am besten ab (Küttel et al. 2002). Die gesamte Tabelle befindet sich im Anhang.

Tabelle 2: Zusammenstellung der Temperaturpräferenzen, Maximal- sowie Minimalwerte für ausgewählte Arten (Küttel et al. 2002, verändert)

		Äsche	Atlantischer Lachs	Bachforelle	Barbe	Barsch	Döbel	Elritze	Groppe	Karpfen
Eier	Maximum	16	16	14	22	30	30	21	-	30
	Oberes Optimum	14	11	9	21	26	24	17		22
	Unteres Optimum	7	4	1	14	11	16	6		16
	Minimum	0	0	0	8	6	10	5		12
Juvenile	Maximum	25	33	24	28	30	30	28	27	36
	Oberes Optimum	22	23	14	24	26	26	25	16	33
	Unteres Optimum		7	7	14	8	8	13	5	15
	Minimum		0	0	7	3	4	3	0	7
Adulte	Maximum	25	34	24	28	30	38	28	27	36
	Oberes Optimum	22	21	19	24	26	26	25	16	33
	Unteres Optimum	4	6	4	14	8	8	13	4	15
	Minimum	0	0	0	7	3	4	3	0	7
Fortpflanzung	Maximum	15	8	13	22	20	22	20	14	30
	Oberes Optimum	10	6	10	20	16	20	15	14	22
	Unteres Optimum	4	1	1	14	8	14	11	7	16
	Minimum	6	0	1	8	6	10	7	7	12

Längsverteilung der Lebensräume an Fließgewässern

Neben der Temperatur als dem entscheidendsten Faktor haben weitere Bedingungen Einfluss auf die längszonale Einteilung der Fischregionen. So ist die Strömungsgeschwindigkeit, Sauerstoffgehalt und das Sohlsubstrat unter anderem für die Verteilung der Fischarten wichtig. Aus diesen benötigten Umweltbedingungen ergeben sich die spezifischen ökologischen Ansprüche der Fischgemeinschaften und -arten an Fließgewässern (Armour 1991).

Die Gewässer werden in einer übergeordneten Ebene in das Rhithral und das Potamal eingeteilt. Es erfolgt eine weitere Untergliederung in das Epi-, Meta- und Hyporhithral – auch obere und untere Forellenregion und Äschenregionen genannt. Das Potamal wird ebenso in Epi-, Meta- und Hypopotamal unterteilt. Auch Barben-, Brachsen- und Kaulbarsch-Flunder-Region genannt. Das Gefälle ist im Oberlauf meistens sehr stark und nimmt zur Einmündung hin ab. Dies hat eine Verringerung der Fließgeschwindigkeit zur Folge. Da auch Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozesse in Abhängigkeit von der Fließgeschwindigkeit stattfinden, verändern sich die Beschaffenheit und das Aussehen der Gewässer fortlaufend (Keiz et al. 2015).

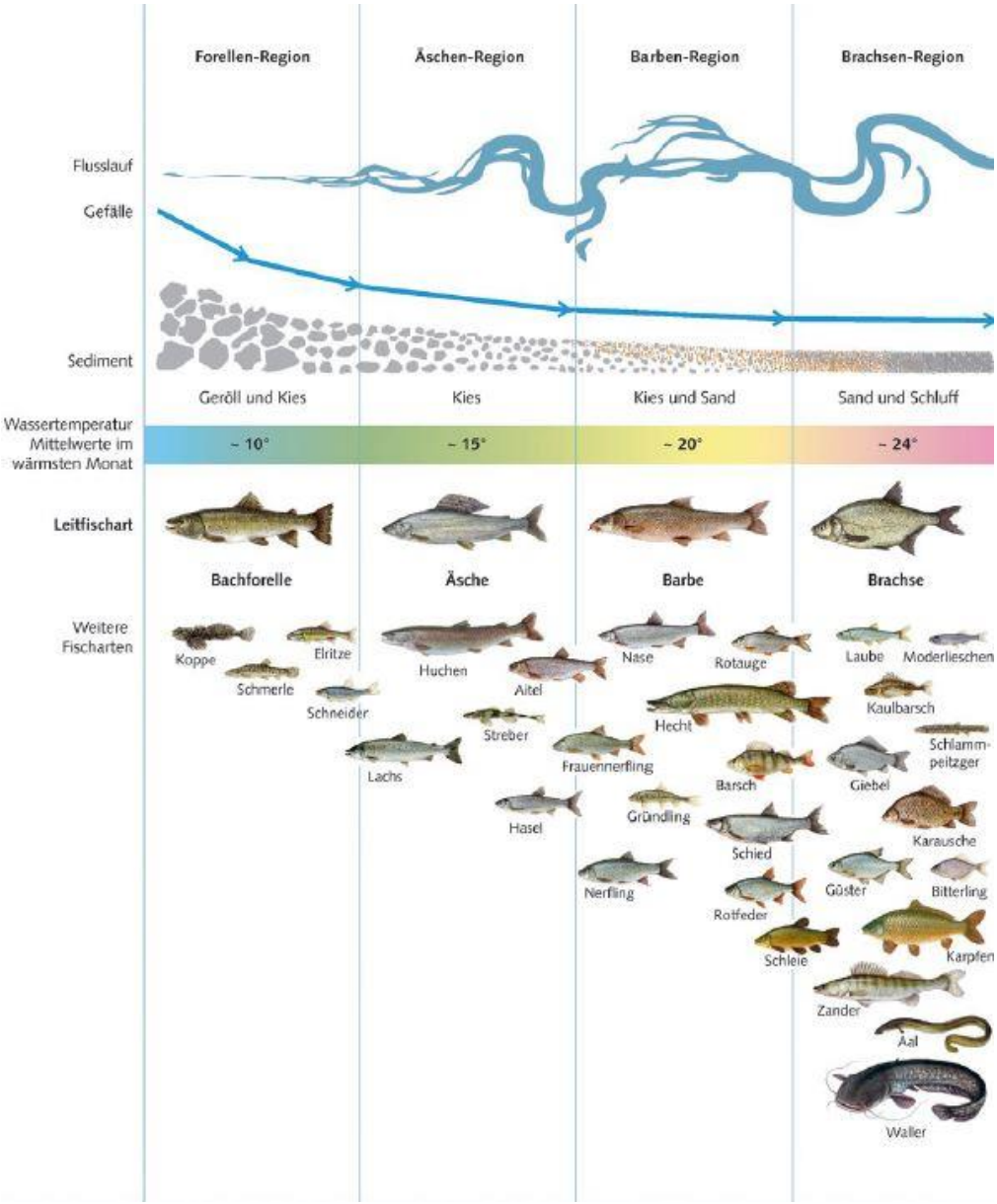


Abbildung 8: Die Fischregionen an Fließgewässern (Hanfland 2020)

2.4.2.1 Einteilung der Fischgemeinschaften nach WRRL

Die EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) hat die Untersuchung und Bewertung des ökologischen und chemischen Zustands der Fließgewässer zur Aufgabe. Zur Bewertung des ökologischen Zustandes hinsichtlich biologischer Qualitätskomponenten ist die Einteilung der Fließgewässer nach Fischgemeinschaften gefordert. Für die Einteilung der Fließgewässer Baden-Württembergs hinsichtlich der Fischgemeinschaften sind die nach Oberflächengewässerverordnung in Abbildung 9 beschriebenen Temperaturobergrenzen wichtig. Werden die Werte nach OGevW überschritten, kann dies den „guten Zustand“ zumindest einer Qualitätskomponente, hier der Fischfauna, gefährden. Unterteilt sind die Temperaturanforderungen in Sommer- sowie Winterzeit. Die Monate April bis November stellen hierbei den Sommer dar, Dezember bis März die Wintermonate (Basen et al. 2022a).

Im Gegensatz zur artspezifischen Betrachtung von Temperaturpräferenzen wie in Kapitel 2.4.2 stellt die Einteilung nach WRRL eher ein grobes Modell dar. Kritisch anzusehen ist, dass die Temperaturanforderungen sich immer nur an den Leitarten der jeweiligen Fischgemeinschaft orientieren, ökologische Ansprüche einzelner Arten finden oftmals keine Betrachtung. Zudem ist eine Einteilung in Sommer und Winter ungenügend, da die Temperaturpräferenzen auch in den Jahreszeiten Frühjahr und Herbst genauer zu betrachten sind. Die Fortpflanzungszeit, oftmals temperatursensibelster Zeitraum, wird für viele Arten nicht ausreichend beachtet (LAWA 2021).

Fischregion	Obere Forellen-region	Untere Forellen-region	Barbenregion			Brachsen-region
			Äschenregion			
Fischgemeinschaft	ER	MR	HR	CR	EP	MP
	Salmoniden geprägte Gewässer des Epirhithrals	Salmoniden geprägte Gewässer des Metarhithrals	Salmoniden geprägte Gewässer des Hyporhithrals	Cypriniden geprägte Gewässer des Rhithrals	Gewässer des Epipotamals	Gewässer des Metapotamals
Winter (Dezember – März)						
„sehr gut“	≤ 8 °C	≤ 10 °C				
„gut“	≤ 8 °C	≤ 10 °C				
Sommer (April – November)						
„sehr gut“	≤ 18 °C			≤ 20 °C		≤ 25 °C
„gut“	≤ 20 °C		≤ 21,5 °C	≤ 23 °C	≤ 25 °C	≤ 28 °C

Abbildung 9: Anforderungen an die Temperaturen der Fließgewässer in Abhängigkeit von den Fischgemeinschaften gemäß OGewW, Anlage 7 (Basen et al. 2022a)

3 Die Kinzig

Untersuchungsgegenstand ist die Kinzig in Baden-Württemberg, die den Mittleren Schwarzwald und die Oberrheinische Tiefebene durchfließt. Sie stellt ein Gewässer 1.Ordnung dar und hat ihren Ursprung in Loßburg im Schwarzwald, nach 94 km mündet die Kinzig rechtsseitig in den Rhein. Die Quellhöhe liegt bei 682 m ü. NN (über Normal Null), die Mündungshöhe bei 134m ü. NN. Das Einzugsgebiet der Kinzig umfasst insgesamt 1402 km^2, die Kinzig ist der größte in den Rhein zufließende Fluss in Baden-Württemberg (Regierungspräsidium Freiburg 2021). Untersucht wird ein Abschnitt von insgesamt 74 km, der Oberlauf der Kinzig ab Schenkenzell kann nicht weiter untersucht werden, da dort keine Temperaturmessungen vorgenommen wurden.

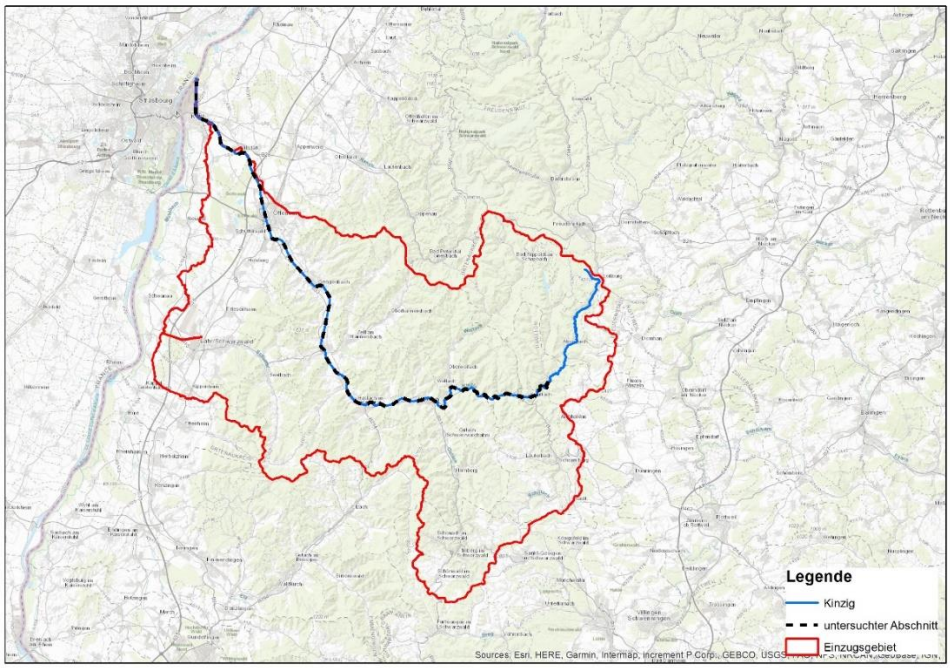


Abbildung 10: Untersuchter Gewässerabschnitt der Kinzig (eigene Darstellung)

Die Kinzig ist im Mittel- und Unterlauf weitestgehend in einem naturfernen Zustand. Ab Haslach im Kinzigtal flussabwärts folgt die Kinzig nicht mehr ihrem ursprünglichen Verlauf und ist auf weiten Strecken geradlinig und stark besiedelt, das Gewässerbett ist als Trapezprofil ausgebildet. Der Gewässerkörper wird bis kurz vor Offenburg aber noch als nwb (natural water body) eingestuft, danach als hmwb (heavily modified waterbody) (Regierungspräsidium Freiburg 2021).

Der Gewässerkörper ist nach Gewässerstrukturgütekartierung der Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW) ab Hausach flussabwärts ausschließlich den Bewertungsklassen 5 (stark verändert) bis 7 (vollständig verändert) zuzuordnen. Oberhalb variiert die Bewertung, in Siedlungsnähe ist die Kinzig aber generell stark verändert. In einem kurzen Abschnitt (ca.1km) im Oberlauf ist die Kinzig in einem unveränderten Zustand, mit Zulauf auf die Gemeinde Loßburg ändert sich der Zustand aber schnell in Bewertungsklasse 4 bis 5 (LUBW 2022).

Auf den ersten 6km im Oberlauf entspricht die Kinzig dem Fließgewässertyp 5.1 „Feinmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach“, anschließend bis zum Zufluss der kleinen Kinzig in Schenkenzell dem Typ 5 „grobmaterialreicher, silikatischer Mittelgebirgsbach“. Weiter flussabwärts bis Gengenbach dem Typ 9 „silikatischer, fein-bis grobmaterialreicher Mittelgebirgsfluss“. Die Strecke von Gengenbach bis in die Mündung in den Rhein wird dem Typ 9.2 „Große Flüsse des Mittelgebirges“ zugeordnet (LUBW 2022).

3.1 Fische in der Kinzig

Das Fischartenkataster Baden-Württemberg führt für die Kinzig seit 2002 Zahlen zum Vorkommen und Verbreitung der Fischarten. An der Kinzig sind alle 3 übergeordneten Fischgemeinschaften anzutreffen. In Tabelle 4 sind alle an der Kinzig in den Jahren 2002-2020 nachgewiesenen Arten fett hinterlegt. Zusätzlich wurden die Regenbogenforelle, verschiedene Grundelarten, Goldfisch, Blaubandbärbling sowie Sonnenbarsch als Neozoen nachgewiesen. Neozoen sind Arten, die hier nicht ihre ursprüngliche Verbreitung haben und somit als gebietsfremd anzusehen sind (Umweltbundesamt 2002). Der Gefährdungsstatus nach RL-BW (Rote-Liste Baden-Württemberg) wird in Tabelle 4 angegeben und gibt einen ersten Überblick über die Schutzwürdigkeit der in der Kinzig anzutreffenden Arten. 0 entspricht der Kategorie verschollen, 1 vom Aussterben bedroht, 2 stark gefährdet und 3 der Vorwarnliste. Arten mit einem * sind als nicht gefährdet eingestuft (Baer et al. 2014). Der Gefährdungsstatus der Arten wird für das Flusssystem Rhein angegeben. Insgesamt sind 44% der vorkommenden Arten an der Kinzig gefährdet (Basen et al. 2022a).

Tabelle 3: Einteilung der baden-württembergischen Fließgewässerarten in Bezug auf ihre Temperaturpräferenzen als Grundlage für die Zuordnung der Fischgemeinschaften nach OGewV, Anlage 7 (Dußling U. et al. 2020, S. 3)

Salmoniden-Rhithral	Cypriniden-Rhithral	Potamal
Äsche (2)	**Barbe (3)**	**Aal (2)**
Atlantischer Lachs (1)	**Döbel (*)**	Aland, Nerfling
Bachforelle (V)	Flussneunauge	**Barsch, Flussbarsch (*)**
Elritze (V)	**Gründling (*)**	**Bitterling (2)**
Groppe, Mühlkoppe (V)	**Hasel (*)**	**Brachse, Blei (*)**
Meerforelle	Huchen	**Dreistachliger Stichling (*)**
Seeforelle	**Meerneunauge (2)**	Flunder
	Nase (2)	Frauennerfling
	Quappe, Rutte (2)	**Giebel (*)**
	Schmerle (*)	**Güster (*)**
	Schneider (3)	**Hecht (*)**
	Schrätzer	Karausche
	Steinbeißer (2)	**Karpfen, Wildform (2)**
	Streber	**Kaulbarsch (*)**
	Strömer	Maifisch
	Zingel	**Rapfen (*)**
		Rotauge, Plötze (*)
		Rotfeder (V)
		Schlammpeitzger
		Schleie (V)
		Ukelei, Laube (*)
		Wels (*)
		Zährte
		Zander (*)
		Zobel

Besonders stark gefährdet sind alle anadromen und katadromen Langdistanzwanderer, dies ist auf die hohen Ansprüche bezüglich der Durchgängigkeit bis in die Nordsee zurückzuführen. Dazu zählen im Untersuchungsgebiet der Atlantische Lachs, Meerneunauge und Aal. Arten, die auf strömungsgeprägte Verhältnisse (rheophil) angepasst sind, sind im Rheinsystem auch sehr gefährdet – hierzu zählt mitunter die Äsche, Bachforelle, Barbe und die Groppe. Arten die bezüglich der Strömung keine besonderen Ansprüche haben (strömungsindifferent) sind meist ungefährdet, dazu zählen viele Arten des Potamals (LFVBW 2011).

4 Methodik

4.1 Standorte und Auswertung der Temperaturdaten

Für die Aufnahme der Wassertemperatur wurden Datenlogger der Firma HOBO in die Gewässer eingebracht. Die Logger wurden durch den Landesfischereiverband Baden-Württemberg für die jeweiligen Gewässerpächter (Angelvereine) besorgt und deren Einbringung in die Gewässer betreut. Im Versuchszeitraum von Ende Mai 2020 bis teilweise in den Dezember 2020 zeichneten die Logger jede halbe Stunde die Temperatur der Gewässer auf, so hat jeder Logger zwischen 9000 und 10.000-mal die Temperatur aufgezeichnet. Insgesamt sind 19 Datenlogger Bestandteil der Untersuchungen, einige Logger sind langfristig trockengefallen oder die Messwerte waren nicht plausibel und konnten so leider nicht ausgewertet werden. Teilweise sind die Logger auch kurzfristig trockengefallen. Die Datensätze wurden dahingehend auf Plausibilität untersucht und bereinigt. 3 der Datenlogger sind in den Zuflüssen Wolf (2 Datenlogger) und der Schutter eingebracht. Die Wolf fließt der Kinzig bei Wolfach zu, die Schutter in der Nähe von Kehl im Unterlauf. Die Daten dieser Logger sind insofern wichtig, als dass die Temperatur von zufließenden Gewässern beurteilt werden kann. Um die Klimaresilienz der Gewässer zu stärken, ist zufließendes Kaltwasser für die kälteliebenden Arten wichtig, um eine Zuflucht vor zu hohen Temperaturen zu ermöglichen. Die Auswertung der Daten der Zuflüsse erfolgt ausschließlich im Maßnahmenteil. Die Nummerierung der Logger folgt der Einteilung der Angelvereine, in Hausach erfolgt die Nummerierung entgegen allen anderen Messstandorten flussaufwärts. Die Karte befindet sich in größerer Auflösung im Anhang.

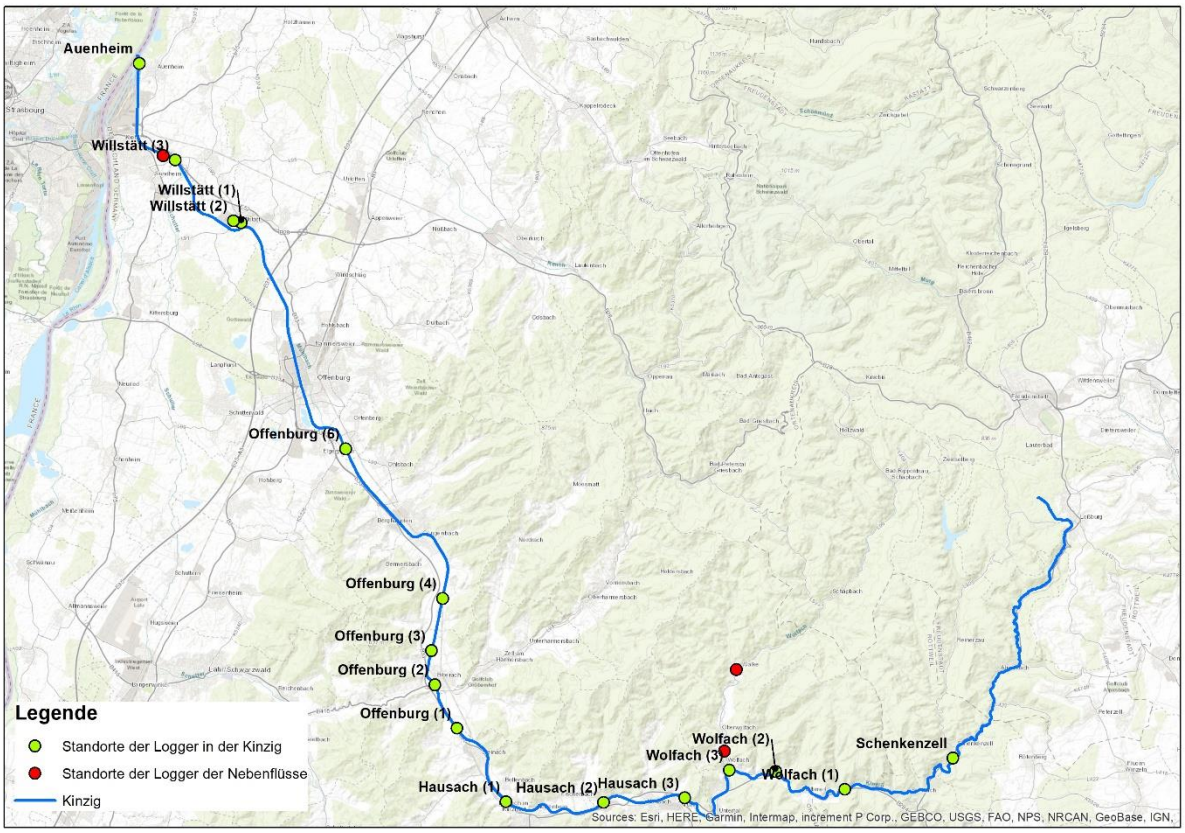


Abbildung 11: Standorte der Datenlogger an der Kinzig und Nebenflüssen (eigene Darstellung)

Für die einzelnen Messstandorte der Kinzig findet im Ergebnisteil eine Auswertung der Temperaturdaten statt. Dies ermöglicht den Standort für die nach WRRL angedachten Orientierungswerte bezüglich der Wassertemperatur zu prüfen. Bereits bei einmaliger Überschreitung der Maximalwerte nach WRRL kann der Standort im Jahr 2020 nicht mehr dem sehr guten/guten ökologischen Zustand bzw. guten Potenzial bezüglich der biologischen Qualitätskomponente „Fischfauna“ entsprechen. Die Temperatur wirkt dann bereits als limitierender Faktor. Die Maximalwerte im Winter haben aufgrund der Messungen im Sommer keine Bedeutung für die Bewertung. Maximalwerte für die einzelnen Fischregionen können Abbildung 9 entnommen werden. Die Karte mit Einteilung der Kinzig nach Fischgemeinschaften befindet sich im Anhang.

Die Durchschnittstemperatur und Temperaturschwankungen wurden nur für die Sommermonate (Mai-September) berechnet, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu ermöglichen. Im Fokus der Arbeit liegen die maximal erreichten Temperaturen im Sommer, welche einen wesentlichen Limitierungsfaktor für Fische darstellen (Basen et al. 2022a).

Da die Einteilung nach Temperaturobergrenzen der Wasserrahmenrichtline bzw. Oberflächengewässerverordnung nur ein sehr vereinfachtes Modell darstellt, welches die ökologischen Ansprüche von vielen Arten nicht berücksichtigt, wurden zusätzlich Temperaturpräferenzen für die Leitarten (>5%) und ausgewählte spezifische Arten (Anteil 1-5%) der Fischgemeinschaft herangezogen, um die Temperaturbedingungen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien genauer zu untersuchen. Die Entwicklungsstadien „Ei“ und „Fortpflanzungszeit“ können nur berücksichtigt werden, wenn die Reproduktion der Art vollumfänglich im Messzeitraum liegt. Liegen die Temperaturen innerhalb des Optimalbereichs der Art werden sie als „gut“ (grün) eingestuft, außerhalb des Optimums aber innerhalb des Toleranzbereiches sind die Bedingungen „ungünstig“ (gelb). Werden die Maximalwerte überschritten, erfolgt die Einstufung in die Kategorie „kritisch“, es werden Letaltemperaturen erreicht.

Die Referenz-Fischzönose der Fischereiforschungsstelle dient als ökologisches Leitbild für die Verbreitung der Fischarten an der Kinzig. Hier werden die Artenzusammensetzung für definierte Gewässerabschnitte (insgesamt 6 in der Kinzig) unter unbeeinträchtigten Bedingungen abgebildet. Die Einteilung erfolgt nach den Kriterien (FFS 2022b) :

- Zoogeografische Zuordnung (Gewässersystem)
- längszonale Ausprägung (Fischregionen) des Fließgewässers
- Natürliche Verbreitungsmuster und -grenzen der Fischarten

Neben der Wassertemperatur ist dafür auch das Vorhandensein von (Laich-) Habitaten notwendig, dies kann in der weiteren Untersuchung nicht berücksichtigt werden. Die komplette Referenz-Fischzönose für den untersuchten Abschnitt der Kinzig befindet sich im Anhang.

In Kapitel 5 werden für alle Messpunkte die Temperaturdaten ausgewertet.

5 Ergebnisdarstellung

5.1.1 Messstandort Schenkenzell

Tabelle 4: Temperaturkennwerte Schenkenzell

Standort	Kinzig bei Schenkenzell							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 18°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (20°C)
Logger Nr.1	03.05.2020 bis 12.11.2020 (194)	08.08.20, 18:00 Uhr 20,52°C	20.10.20, 9:30 Uhr 6,27°C	14,73°C	01.08.20 10:00 Uhr (14,6°C) bis 18:30 Uhr (20.0°C) Δ 5,4° Temperatur-unterschied	3,08°C	50 Tage (25,8% der Gesamttage)	11 Tage (5,7% der Gesamttage)

Die durchschnittlichen Temperaturschwankungen an diesem Messstandort betragen 3,08°C und bilden damit einen relativ normalen Schwankungsbereich für die unteren Oberläufe und Mitteläufe von Fließgewässern ab (Jungwirth et al. 2003). Der wärmste Monat war der August mit einer Durchschnittstemperatur von 16,69°C. Bis zu diesem Messstandort ist die Kinzig in weiten Teil durch Ufergehölze und Wälder verschattet, dies wirkt sich allgemein positiv auf die Gewässertemperaturen und die Schwankungen im Tagesverlauf aus. Allerdings ist die Kinzig nicht auf der gesamten Strecke im Oberlauf durch Ufergehölze verschattet, zusätzliche standorttypische Pflanzungen können die Wassertemperaturen positiv beeinflussen. Zudem ist zu erwähnen, dass standortfremde Nadelholzforste sich generell deutlich stärker erwärmen als Laubwälder oder eine naturnahe Ufervegetation. Die Temperaturunterschiede zwischen alten Buchenwäldern und Kieferforsten beträgt bis zu 10°C (BAFU 2020).

Bewertung nach WRRL

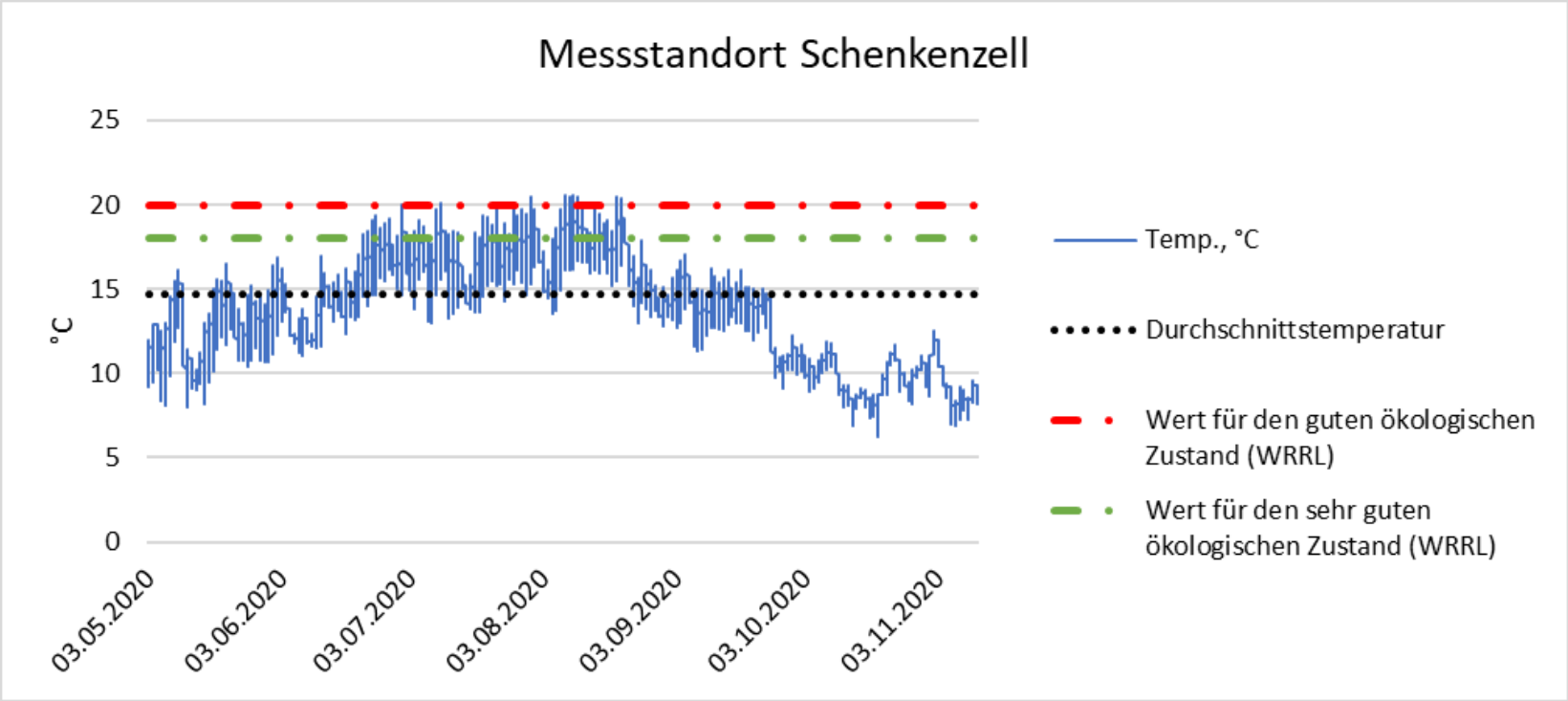


Abbildung 12: Temperaturverlauf Schenkenzell

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie wird der Standort dem SA-MR (Salmonidengeprägte Gewässer des Metarhithrals), also der unteren Forellenregion, zugeordnet. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 20°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 18°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 11 Tagen wurde die Temperatur von 20°C überschritten. 18°C wurden an insgesamt 50 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Die Maximalwerte werden allerdings nur kurzfristig überschritten. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 5: Einordung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Schenkenzell

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Bachforelle	Oktober-Dezember	17,9				
Groppe	Februar-Mai	17,9				
Elritze	April-Juni	17,9				
Schmerle	April-Juni	17,9				
Äsche	März-April	8,0				
Barbe	Mai-Juli	5,5				
Döbel	April-Juli	5,5				
Atlantischer Lachs	November-Februar	3,8				

Nach Referenz-Fischzönose bilden Bachforelle, Groppe, Elritze, Schmerle, Äsche, Barbe und Döbel/Aitel die „Leitarten“ (>5% Dominanz) für diesen Gewässerabschnitt. Der Atlantische Lachs ist eine sogenannte „typspezifische Art“ (1-5% Dominanz). Die Arten Bachforelle und Groppe haben nach Referenz-Fischzönose im untersuchten Gewässerabschnitt ihr Hauptverbreitungsgebiet, besiedeln allerdings vorrangig Gewässerabschnitte weiter oben im Gewässerverlauf. Ab der Aischbach-Einmündung flussaufwärts nehmen die Bachforelle und Groppe Anteile von zu jeweils 49% (nach Referenz-Fischzönose) des Gesamtbestandes ein, dieser Abschnitt konnte aufgrund fehlender Temperaturmessungen nicht weiter untersucht werden.

Für die angestammten Leitarten Bachforelle und Groppe sind die Umweltbedingungen am Messtandort ungünstig. Der Optimalbereich wird für beide Arten in den Entwicklungsstadien „Juvenil“ und/oder „Adult“ überschritten. Für das Fortbestehen der Bestände ist ein Ausweichen in Gewässerabschnitte mit kühleren Verhältnissen notwendig. Die Äsche findet hier gute Temperaturbedingungen innerhalb des Optimalbereichs vor. Die Begleitarten der Bachforellen-Region, Elritze und Schmerle, finden hier ebenfalls gute Temperaturbedingungen vor, gegenüber den sehr temperatursensiblen Arten Bachforelle und Groppe besitzen sie eine breitere Temperaturtoleranz. Der Döbel gehört zu der Ordnung der Karpfenartigen Fische und weist allgemein eine breitere ökologische Potenz in Bezug auf die Wassertemperatur auf. Für das juvenile und adulte Entwicklungsstadium sind die Temperaturverhältnisse optimal. Die Barbe bildet eigentlich eine Leitart des Cypriniden-Rhithrals ab, sie findet hier im adulten und juvenilen Entwicklungsstadium gute Temperaturbedingungen vor. Für die Fortpflanzungszeit wird ein oberes Optimum von 20°C angegeben, dieser Wert wird nur kurzzeitig überschritten. Für die Entwicklung von Eiern liegen die Temperaturen in den Monaten Juni und Juli im Optimalbereich. Lachse sind allgemein temperaturtoleranter als andere Salmoniden, die Werte liegen innerhalb des Optimalbereichs. Teilweise verbleiben adulte Männchen in den Fließgewässern und wandern nicht in die Nordsee zurück, deshalb wurde hier auch eine Angabe zum adulten Entwicklungsstadium in den Sommermonaten gemacht. Die jungen Lachse verbleiben für 1 bis 2 Jahre in ihren Geburtsgewässern, bevor sie die Wanderung in die Nordsee antreten (LUBW 2005). Die Nase, eigentlich eine Begleitart der Barbenregion, findet nur an diesem Messstandort Temperaturen innerhalb des

Optimalbereichs vor. Aufgrund ihrer speziellen Habitatansprüche ist der Standort aber als potenzieller Lebensraum fraglich. Die Nase ist spezialisiert auf das Abweiden von Steinen und Felsblöcken (LUBW 2005). Diese Bedingungen findet man in den Oberläufen der Gewässer selten, im Jahr 2020 konnte aber erstmals ein Exemplar in der Schiltach festgestellt werden (FFS 2022a). Die Schiltach fließt zwischen Schenkenzell und Wolfach der Kinzig rechtsseitig zu.

5.1.2 Messstandorte Wolfach

Tabelle 6: Temperaturkennwerte Wolfach Logger Nr.1

Standort	Kinzig bei Wolfach							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 18°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (20°C)
Logger Nr.1	03.05.2020 bis 09.11.2020 (191)	10.08.20, 19:30 Uhr 22,53°C	20.10.20, 11:00 Uhr 7,28°C	16,30°C	16.05.20 Δ 5,4°C Temperatur-unterschied	3,14°C	74 Tage (38,8% der Gesamttage)	45 Tage (23,6% der Gesamttage)

Die Messstandorte in Wolfach sind unterteilt, da Logger Nr.1 und Logger Nr.2/3 unterschiedlichen Referenz-Fischzönosen und Fischgemeinschaften nach Wasserrahmenrichtlinie entsprechen. Die Durchschnittstemperatur ist an diesem Messstandort gegenüber Schenkenzell bereits um 1,5°C erhöht. Die durchschnittlichen Temperaturschwankungen an diesem Messstandort betragen 3,14°C und nehmen gegenüber dem Messstandort in Schenkenzell leicht zu. Der wärmste Monat war der September mit einer Durchschnittstemperatur von 18,47°C.

Die ansteigenden Temperaturen sind nicht allein durch den natürlichen Temperaturgradient an Gewässern zu erklären, vermutlich steigen die Temperaturen durch mehrere Stauhaltungen zwischen den Messstandorten. Stauhaltungen wirken sich negativ auf die Wassertemperaturen aus, das angestaute stehende Wasser erhitzt sich schneller, auch der Gewässerkörper unterhalb wird durch die verringerte Wassermenge und -tiefe schneller erwärmt (Löser et al. 2011).

Bewertung nach WRRL

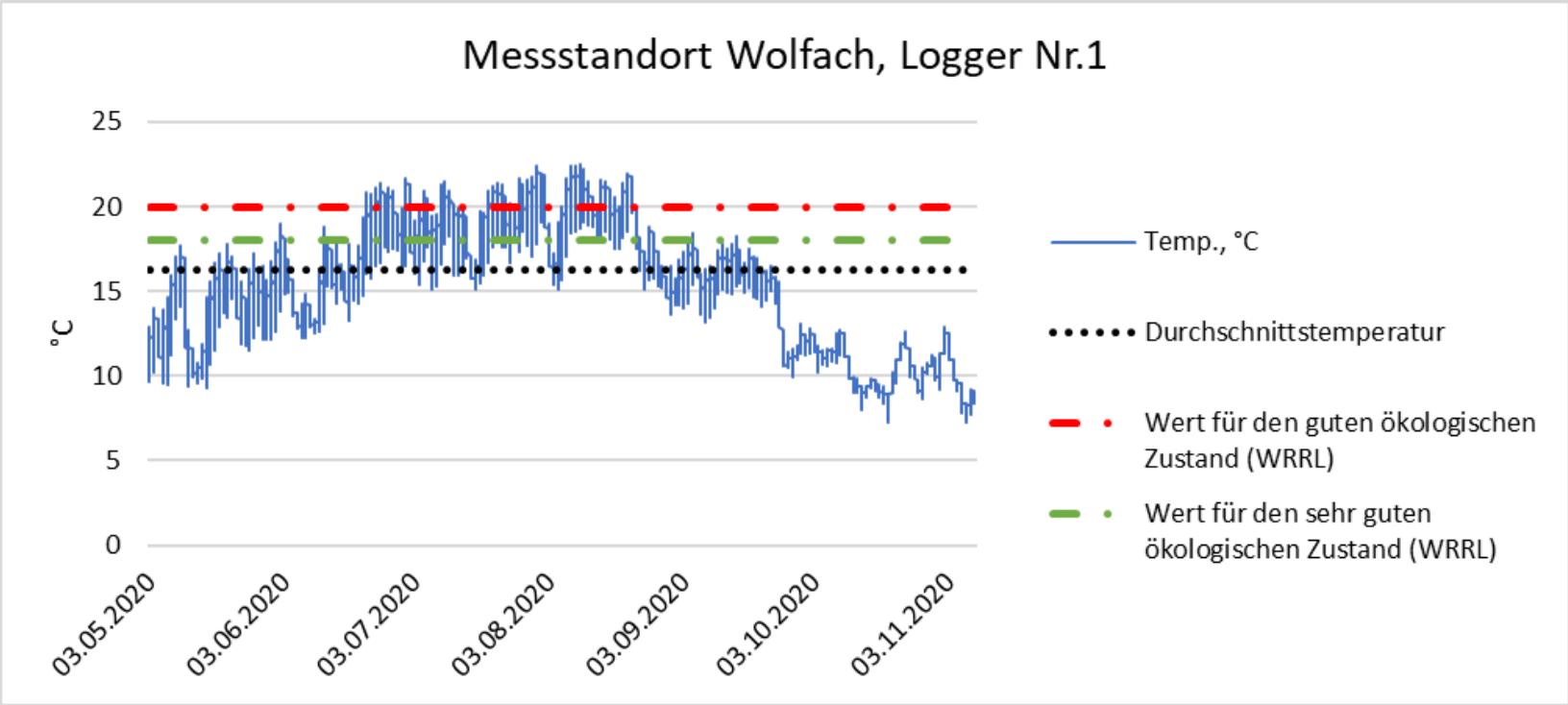


Abbildung 13: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.1

Logger Nr.1

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie wird der Standort dem SA-MR (Salmonidengeprägte Gewässer des Metarhithrals), also der unteren Forellenregion, zugeordnet. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 20°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 18°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 45 Tagen wurde die Temperatur von 20°C überschritten. 18°C wurden an insgesamt 74 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Die Temperaturwerte sind deutlich erhöht gegenüber dem Messstandort in Schenkenzell. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 7: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Wolfach Nr.1

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Bachforelle	Oktober-Dezember	17,9				
Groppe	Februar-Mai	17,9				
Elritze	April-Juni	17,9				
Schmerle	April-Juni	17,9				
Äsche	März-April	8,0				
Barbe	Mai-Juli	5,5				
Döbel	April-Juli	5,5				
Atlantischer Lachs	November-Februar	3,8				

Die Referenz-Fischzönose ändert sich gegenüber dem Messstandort in Schenkenzell nicht. Die Standortbedingungen werden für die typischen Arten des Salmoniden-Rhithrals zunehmend schlechter, die maximal erreichte Temperatur beträgt 22,53°C. Bachforelle und Groppe erfahren hier erwartungsgemäß keine Verbesserung der Temperaturbedingungen. Die Äsche verlässt im juvenilen und adulten Stadium ihren Optimalbereich, wenn auch nur kurzfristig (insgesamt 5 Tage, davon 2 aufeinanderfolgende Tage). Der obere Optimalbereich (21°C) für adulte Lachse wird an diesem Messstandort an 7 aufeinanderfolgenden Tagen (27.07-2.08) überschritten, die Temperaturbedingungen sind in diesem Zeitraum ungünstig. Nach bestehenden Temperaturpräferenzen scheinen adulte Tiere temperaturempfindlicher als juvenile Lachse zu sein. Die Barbe findet hier gleichbleibend gute Temperaturverhältnisse vor. An den nachfolgenden Messstandorten flussabwärts werden die Bedingungen für die Barbe ungünstig. Im Jahr 2020 ist anzunehmen, dass die Barbe dementsprechend Gewässerbereiche weiter aufwärts in der Kinzig aufsuchen muss, während die Bedingungen in ihrem eigentlichen Hauptverbreitungsgebiet in Hausach ungünstig sind. Der Döbel als Ubiquist (GÖG o.J.) bewegt sich an diesem Messstandort im Optimalbereich. Die Nase, an diesem Messstandort keine typspezifische Art, aber dennoch mit einer Abundanz von 0,8% vorkommend, findet hier in Bezug auf die Gewässertemperatur optimale Bedingungen vor. Analog zum Messstandort in Schenkenzell ist die Habitatausprägung an diesem Standort aber eher fraglich für die Art, die Nahrungsgrundlage (Hartsubstrate an Gesteinen) ist hier vermutlich nicht ausreichend vorhanden. Die Nase zählt wie die Barbe zu den Karpfenartigen Fischen (Cyprinidae), beide besitzen aber ein für Cypriniden untypisches enges Temperaturfenster. Für beide Arten kann aus den Temperaturverhältnissen ein Aufwandern in diese Gewässerabschnitte angenommen werden.

Tabelle 8: Temperaturkennwerte Wolfach Nr.2 und Nr.3

Standort	Kinzig bei Wolfach							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 18°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (21,5°C)
Logger Nr.2	03.05.2020 bis 09.11.2020 (191)	31.07.20, 18:00 24,55°C	20.10.20, 10:30 7,38°C	16,59°C	31.07.20 Δ 6,3°C Temperatur-unterschied	3,80°C	79 Tage (41,4% der Gesamttage)	38 Tage (19,9% der Gesamttage)
Logger Nr.3		10.08.20 19:00 25,22°C	07.11.20 09:30 7,58°C	17,51°C	12.06.20 Δ 6,8°C Temperatur-unterschied	3,97°C	106 Tage (55,5 % der Gesamttage)	52 Tage (27,2% der Gesamttage)

Die maximal erreichte Temperatur liegt hier bei 24,55°C bzw. 25,22°C und ist damit gegenüber dem Messstandort von Logger Nr.1 deutlich erhöht. Der wärmste Monat war der Juli mit einer Durchschnittstemperatur von 19,23 (Logger Nr.2) bzw. 19,87°C (Logger Nr.3). Die durchschnittlichen Temperaturschwankungen an diesen Messstandorten betragen 3,26 bzw. 3,41 °C, hier ist ebenfalls eine deutliche Erhöhung gegenüber Logger Nr.1 in Wolfach zu sehen. An keinem Messstandort in der Kinzig werden höhere durchschnittliche Schwankungen im Tagesverlauf erreicht. Die Beschattung an Logger Nr.2 und Nr.3 ist unzureichend und kann mögliche Ursache für die Temperaturerhöhungen an der Kinzig sein. Zudem fließt nach Logger Nr.1 der Langenbach zu. Der Langenbach ist im Oberlauf kaum durch Ufergehölze verschattet und erhitzt sich vermutlich stark, das kann zu einer Erhöhung der Wassertemperaturen der Kinzig führen. Direkt nach Logger Nr.2 fließt die Wolf in die Kinzig zu. Im Jahr 2020 wurden dort Temperaturmessungen vorgenommen. Durchschnittstemperatur und Maximalwerte entsprechen in etwa den Temperaturverhältnissen der Kinzig, eine zusätzliche Erwärmung durch die Wolf ist nicht anzunehmen. Die Wolf wird wie die Kinzig selbst der SA-HR (Salmonidengeprägte Gewässer des Hyporhithrals) Fischgemeinschaft zugeordnet. Als mögliche Zuflucht vor zu warmen Temperaturen in der Kinzig kann die Wolfach allerdings nicht dienen, die Temperaturen sind deutlich zu hoch.

Bewertung nach WRRL

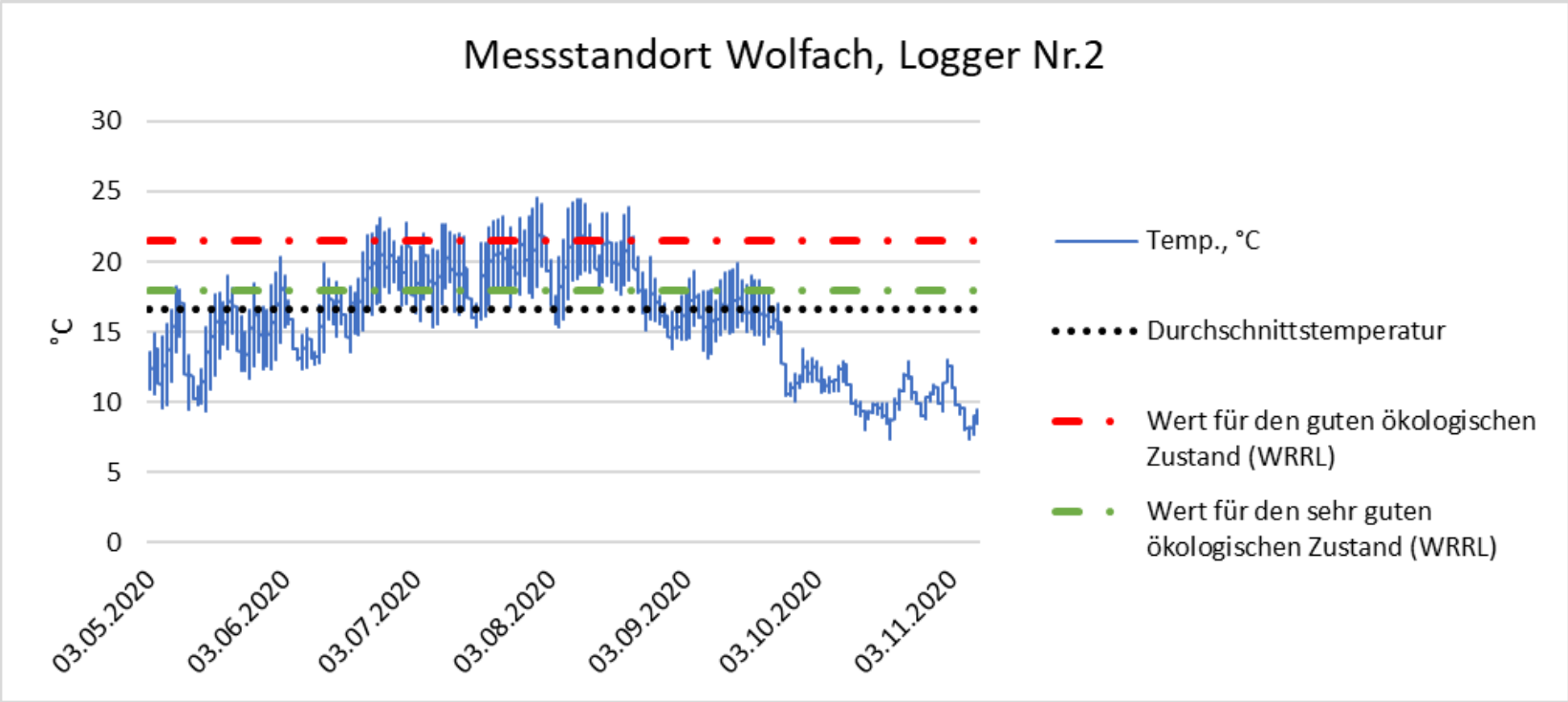


Abbildung 14: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.2

Logger Nr.2

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie wird der Logger Nr.2 dem SA-HR (Salmonidengeprägte Gewässer des Hyporhithrals), also der Äschenregion, zugeordnet. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 21,5°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 18°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 38 Tagen wurde die Temperatur von 21,5°C überschritten. 18°C wurden an insgesamt 79 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer, die Maximalwerte werden regelmäßig überschritten. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite.

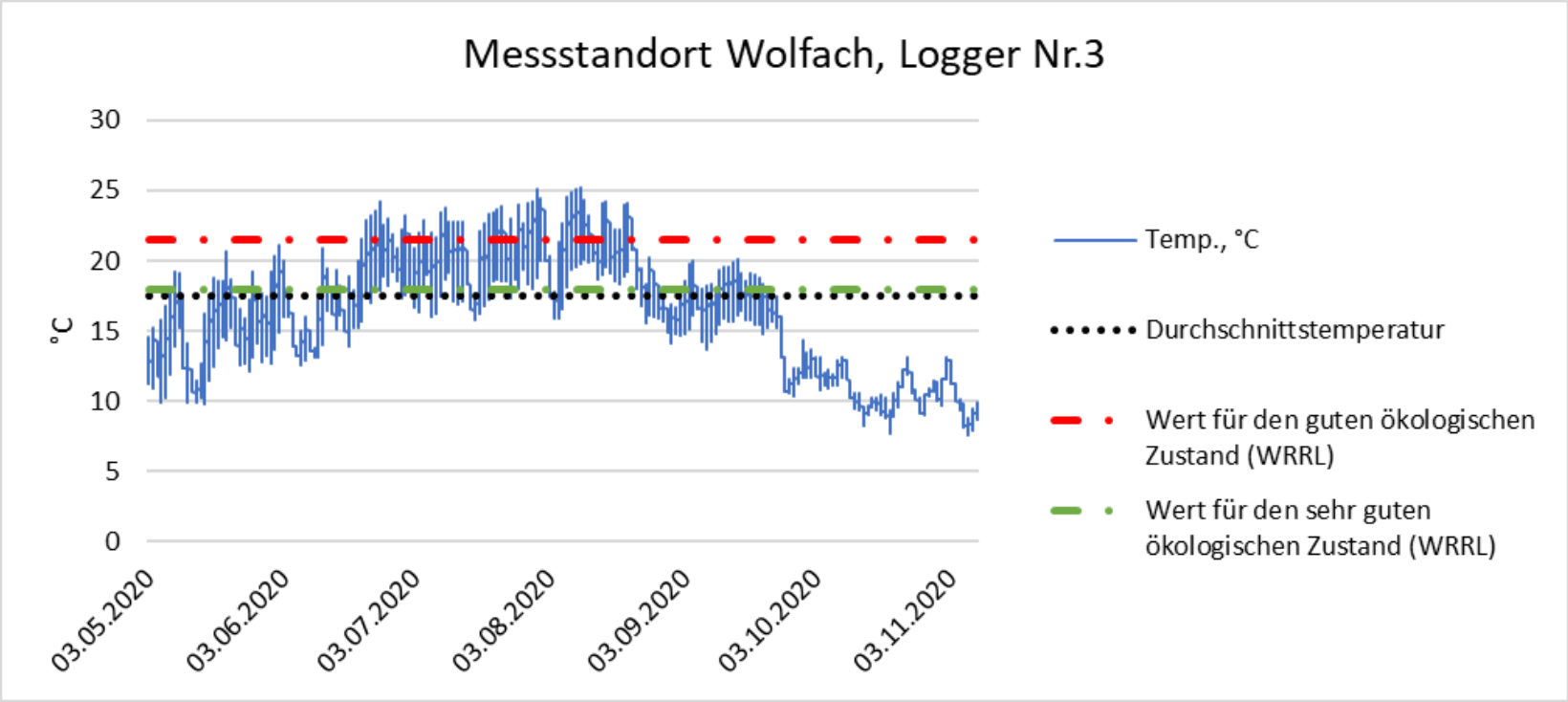


Abbildung 15: Temperaturverlauf Wolfach, Nr.3

Logger Nr.3

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie wird Logger Nr.3 dem SA-HR (Salmonidengeprägte Gewässer des Hyporhithrals), also der Äschenregion zugeordnet. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 21,5°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 18°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 52 Tagen wurde die Temperatur von 21,5°C überschritten. 18°C wurden an insgesamt 106 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer, die Maximalwerte werden regelmäßig überschritten. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 9: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Wolfach Nr.2 und Nr.3

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Schmerle	April-Juni	15,5				
Elritze	April-Juni	13,3				
Bachforelle	Oktober-Dezember	10,9				
Groppe	Februar-Mai	10,9				
Döbel	April-Juli	10,9				
Äsche	März-April	10,9				
Barbe	Mai-Juli	6,7				
Atlantischer Lachs	November-Februar	5,5				
Hasel	März-April	3,0		-	-	
Gründling	April-August	3,0				
Schneider	Mai-Juli	3,0				
Nase	März-Mai	2,0				

Nach Referenz-Fischzönose bilden Schmerle, Elritze, Bachforelle, Groppe, Döbel, Äsche, Barbe und der Atlantische Lachs die „Leitarten“ (>5% Dominanz) für diesen Gewässerabschnitt, Hasel und Nase sind „typspezifische Art“ (1-5% Dominanz). Schmerle, Elritze, Bachforelle und Groppe gehen anteilig zurück. Barbe, Atlantischer Lachs und Äsche steigen in ihren Anteilen an der Referenz-Fischzönose. Die Lebensraumbedingungen verändern sich, Gefälle und Strömungsgeschwindigkeit nehmen ab, die Gewässersohle ist aus feineren Kiesen aufgebaut. Der Sauerstoffgehalt sinkt. In diesem Gewässerabschnitt haben die Äsche, Döbel und Atlantischer Lachs nach Referenz-Fischzönose ihr Hauptverbreitungsgebiet.

Für juvenile Schmerlen werden an 13 Tagen insgesamt (davon im August 5 Tage aufeinanderfolgend) Temperaturen außerhalb des Optimalbereichs (24°C) erreicht, für Adulte liegen die Temperaturen gleichbleibend im Optimalbereich.

Für Bachforellen werden letale Temperaturwerte oberhalb von 24°C erreicht, an Logger Nr.3 an 5 aufeinanderfolgenden Tagen im August. Für die Groppe herrschen weiterhin Temperaturen außerhalb des Optimalbereichs. Für juvenile Lachse werden die Temperaturen des Optimalbereichs überschritten, damit verschlechtern sich die Bedingungen im Vergleich zum Messstandort 1 in Wolfach, die vom Aussterben bedrohte Art (RL Status 1) hat hier ihr Hauptverbreitungsgebiet. Die Äsche hat hier nach Referenz-Fischzönose ihr Hauptverbreitungsgebiet mit einer Abundanz von 10,9%. Allerdings werden hier im Entwicklungsstadium „Adult“ und „Juvenil“ letale Temperaturen außerhalb des Optimalbereichs (Oberes Optimum 22°C, Oberes Maximum 25°C) erreicht, 22°C

wird an Logger Nr.3 an insgesamt 44 Tagen überschritten, in den Monaten Juli und August liegen die Temperaturen an fast allen Tagen über 22°C. Für kaltstenotherme Arten werden die Temperaturverhältnisse zunehmend schlechter. Für keine Art liegen die Temperaturen im Optimalbereich. Für Äsche und Bachforelle werden letale Temperaturen erreicht.

Der Döbel hat hier ebenfalls sein Hauptverbreitungsgebiet nach Referenz-Fischzönose mit einer Abundanz von 10,9%. Für adulte und juvenile Fische bewegen sich die Temperaturen im Optimalbereich.

Die Barbe überschreitet an den Messstandorten sowohl im juvenilen als auch adulten Stadium ihr oberes Optimum. Für die Entwicklungsstadien „Eier“ und „Juvenil“ werden letale Temperaturen überhalb von 22°C erreicht. In den Monaten Mai-Juli wird die Temperatur von 22°C an 19 (Logger Nr.2) bzw. 28 Tagen (Logger Nr.3) überschritten. Die Reproduktion der Barbe ist an diesem Standort stark beeinträchtigt. Die Nase findet keine optimalen Verhältnisse vor, die Temperaturen liegen über dem oberen Optimum von 23°C. Die Temperaturen werden flussabwärts zunehmend höher, an der Kinzig findet sie damit nur an den Messstandorten in Schenkenzell und Wolfach Nr.1 gute Bedingungen vor.

5.1.3 Messstandorte Hausauch

Tabelle 10: Temperaturkennwerte Hausach, alle Logger

Standort	Kinzig bei Hausach							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 20°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (23°C)
Logger Nr.3	08.05.2020 bis 11.12.2020 (218)	10.08.20, 19:00 Uhr 25,13°C	01.12.20, 04:30 Uhr 1,76°C	18,15°C	16.05.20 Δ 6,4°C Temperatur-unterschied	3,54°C	72 Tage (33% der Gesamttage)	33 Tage (15,13% der Gesamttage)
Logger Nr.2		31.07.20, 19:00 25,9°C	01.12.20, 06:00 1,76°C	18,40°C	12.06.20 Δ 6,3°C Temperatur-unterschied	3,60°C	84 Tage (38,5% der Gesamttage)	39 Tage (17,9 % der Gesamttage)
Logger Nr.1		01.08.20 13:00 25,13°C	01.12.20 04:30 2,2°C	18,54°C	30.07.20 Δ 8,2°C Temperatur-unterschied	2,7 °C	75 Tage (34,4 % der Gesamttage)	27 Tage (12,3% der Gesamttage)

Die durchschnittlichen Schwankungen im Tagesverlauf gehen an diesen Messstandorten zurück. Besonders Logger Nr.1 sticht hier mit durchschnittlichen Schwankungen von nur 2,73°C hervor. Ursache hierfür ist vermutlich der linksseitig zufließende Mühlbach, der kühleres Wasser in die Kinzig führt. Allerdings erscheint der Effekt nicht allzu hoch zu sein, die Durchschnittstemperaturen werden dadurch nicht positiv beeinflusst. Bedenklich sind die maximalen Schwankungen im Tagesverlauf an Logger Nr.1, die Temperaturen steigen im Tagesgang des 30.07.20 von 05:00 Uhr (15,4°C) bis 18:30 Uhr (23,6°C) um 8,2°C an. Die Ufervegetation ist an den Messstandorten selbst und auch flussaufwärts nur mangelhaft ausgebildet. Der wärmste Monat ist an allen 3 Loggern der Juli mit durchschnittlichen Temperaturen von 20,31 bis 20,68°C.

Bewertung nach WRRL

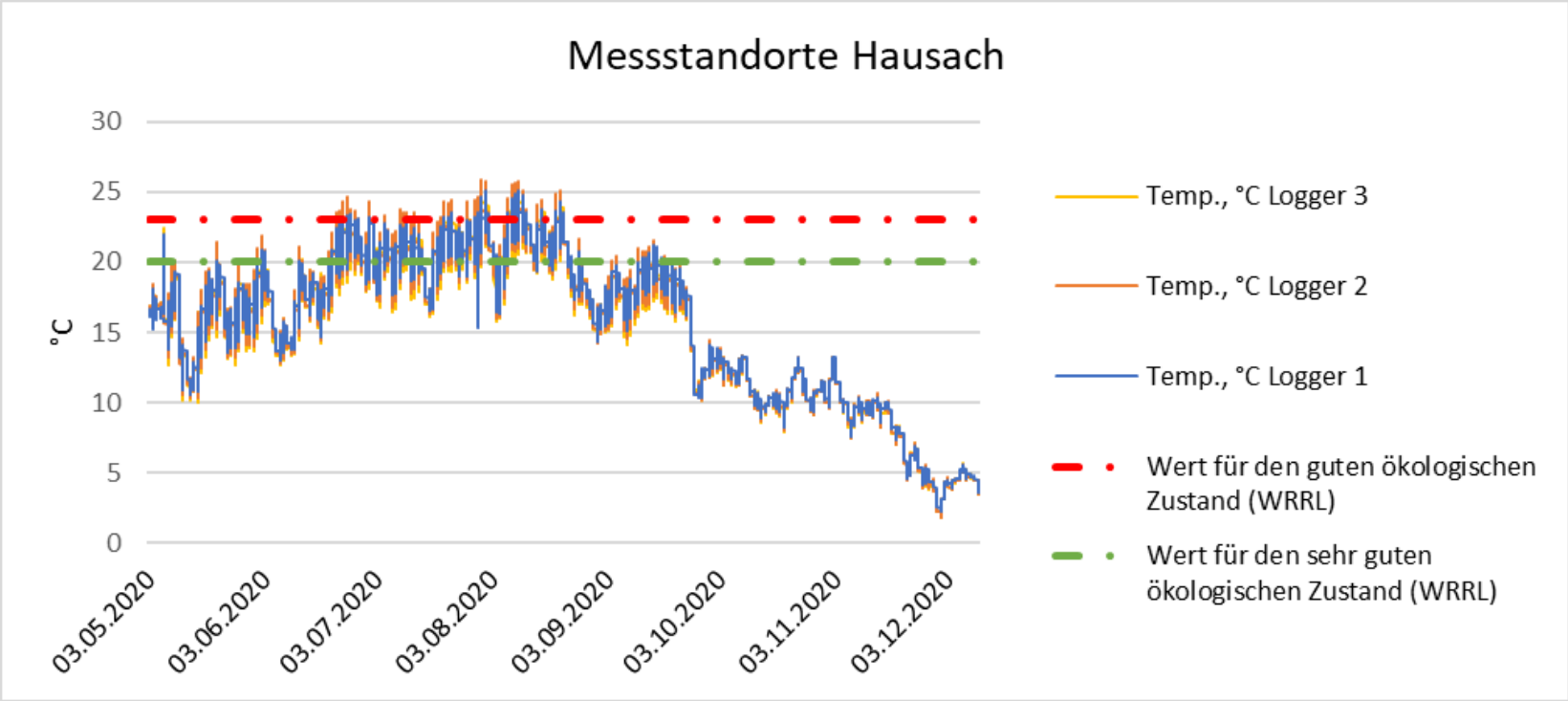


Abbildung 16: Temperaturverlauf Hausach, alle Logger

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie werden alle Logger dem CR (Cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals) zugeordnet, also der Äschen/Barbenregion. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 23°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 20°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 27 bis 39 Tagen wurde die Temperatur von 23°C überschritten. 20°C wurden an insgesamt 72 bis 84 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 11: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Hausach

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Barbe	Mai-Juli	9,2				
Döbel	April-Juli	9,2				
Elritze	April-Juni	9,2				
Gründling	April-August	9,2				
Hasel	März-April	9,2		-	-	
Schmerle	April-Juni	9,2				
Äsche	März-April	7,4				
Schneider	Mai-Juli	7,4				
Atlantischer Lachs	November-Februar	5,5				
Nase	März-Mai	5,5				
Bachforelle	Oktober-Dezember	4,5				
Groppe	Februar-Mai	4,5				
Aal	März-Juli	2,4				
Barsch	März-Juni	1,0				
Rotauge	April-Mai	1,0				

Für alle Logger in Hausach bilden Barbe, Döbel, Elritze, Gründling, Hasel, Schmerle, Äsche, Schneider, Atlantischer Lachs und Nase die Leitfischarten (>5% Dominanz). Bachforelle, Groppe, Aal, Bachneunauge, Barsch und Rotauge bilden die „typspezifischen Arten“ (1-5% Dominanz). Die Fischarten Barbe, Atlantischer Lachs, Hasel, Gründling und Schneider haben nach Referenz-Fischzönose hier ihr Hauptverbreitungsgebiet.

Für die Barbe verschlechtern sich die Temperaturbedingungen, die Temperaturwerte entfernen sich immer weiter von ihrem Optimalbereich und es ist zusätzlicher temperaturbedingter Stress anzunehmen. Weiter flussaufwärts findet die Barbe im juvenilen und adulten Entwicklungsstadium bessere Temperaturbedingungen vor. Für den Atlantischen Lachs ändert sich der Zustand formal nicht, die Temperaturen bewegen sich aber außerhalb des Optimalbereichs und sind gegenüber den Loggern in Wolfach erhöht. Zusätzlicher thermischer Stress ist anzunehmen. Aufgrund fehlender Temperaturpräferenzen kann für den Hasel keine Einordnung der Temperaturverhältnisse in den Sommermonaten zu den Entwicklungsstadien Juvenil/Adult erfolgen.

Der Gründling, ebenfalls den Karpfenartigen (Cyprinidae) zugehörig, findet in seinem Hauptverbreitungsgebiet gute Temperaturbedingungen vor. Unteres Optimum der Art liegt bei 8°C, oberes Optimum bei 27°C. Diese breite Temperaturspanne bedingt an allen Messstandorten gute Temperaturbedingungen.

Die Schmerle geht in ihren Anteilen an der Referenz-Fischzönose zurück. Gegenüber dem Messstandorten in Wolfach verschlechtern sich die Temperaturbedingungen, im juvenilen Stadium werden Werte außerhalb des Optimalbereichs erreicht. Die Äsche liegt an diesem Messstandort nur noch knapp unterhalb des kritischen Bereichs von 26°C, zusätzlicher thermischer Stress ist anzunehmen. Nachdem die Temperaturen für den Atlantischen Lachs außerhalb des Optimalbereichs liegen, ist ein Aufwandern in kühlere Gewässerabschnitte wahrscheinlich. Für die Bachforelle werden letale Temperaturen oberhalb von 25°C erreicht. Der Schneider hat hier nach Referenz-Fischzönose sein Hauptverbreitungsgebiet, findet aber bereits an den Messstandorten in Wolfach keine optimalen Temperaturbedingungen vor. Flussabwärts werden die Bedingungen durch steigende Temperaturen zunehmend schlechter. Damit findet der Schneider an keinem Messstandort günstige Temperaturverhältnisse.

Hier treten nach Referenz-Fischzönose erstmal die Arten Rotauge, Aal und Barsch in Erscheinung. Die Arten haben ihr Hauptverbreitungsgebiet im Potamal, die Temperaturverhältnisse in Hausach sind für diese Arten im Optimalbereich. Es kann angenommen werden, dass diese Arten sich hier weiter ausbreiten und sich Bestände ausbilden, die den Anteil der Referenz-Fischzönose übersteigen.

5.1.4 Messstandorte Offenburg

Tabelle 12: Temperaturkennwerte Offenburg, alle Logger

Standort	Kinzig bei Offenburg							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 20°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (23°C)
Logger Nr.1	03.05.2020 bis 11.11.2020 (193)	09.08.20, 18:00 Uhr 25,32°C	07.11.20, 10:00 Uhr 8,18°C	18,63°C	11.05.20 Δ 5,4°C Temperatur-unterschied	2,46°C	76 Tage (39,4% der Gesamttage)	27 Tage (13,4% der Gesamttage)
Logger Nr.2		10.08.20, 18:30 Uhr 25,51°C	07.11.20, 09:30 Uhr 7,88°C	18,56°C	30.07.20 Δ 6,4°C Temperatur-unterschied	2,84°C	80 Tage (41,5% der Gesamttage)	31 Tage (16,0% der Gesamttage)
Logger Nr.3		10.08.20, 18:30 Uhr 25,71°C	07.11.20, 08:30 Uhr 7,98°C	18,71°C	11.05.20 Δ 5,0°C Temperatur-unterschied	3,07°C	87 Tage (41,1% der Gesamttage)	34 Tage (17,6% der Gesamttage)
Logger Nr.4		10.08.20, 18:30 Uhr 25,32°C	07.11.20, 09:30 Uhr 8,08°C	18,66°C	11.05.20 Δ 5,2°C Temperatur-unterschied	3,12°C	87 Tage (45,1% der Gesamttage)	35 Tage (18,1% der Gesamttage)
Logger Nr.6		31.07.20, 18:00 Uhr 25,9°C	07.11.20, 09:00 Uhr 8,38°C	18,59°C	31.07.20 Δ 6,5°C Temperatur-unterschied	3,66°C	95 Tage (49,22% der Gesamttage)	45 Tage (23,3% der Gesamttage)

Aufgrund der sehr homogenen Temperaturwerte findet keine Auswertung der einzelnen Messtandorte in graphischer Form statt. Zur Darstellung des allgemeinen Temperaturverlaufs wird Logger Nr.3 dargestellt. Die Durchschnittstemperaturen steigen weiter deutlich an. Die Fließstrecke zwischen Logger Nr.1 und Logger Nr.6 beläuft sich auf ca. 14km. Wärmster Monat an allen Loggern war der August mit Durchschnittstemperaturen von 20,73- 21,09°C. Der Gewässerkörper ist zunehmend anthropogen überprägt, die Kinzig fließt ab Haslach in einem Trapezprofil und entspricht nicht mehr ihrem natürlichen Verlauf.

Bewertung nach WRRL

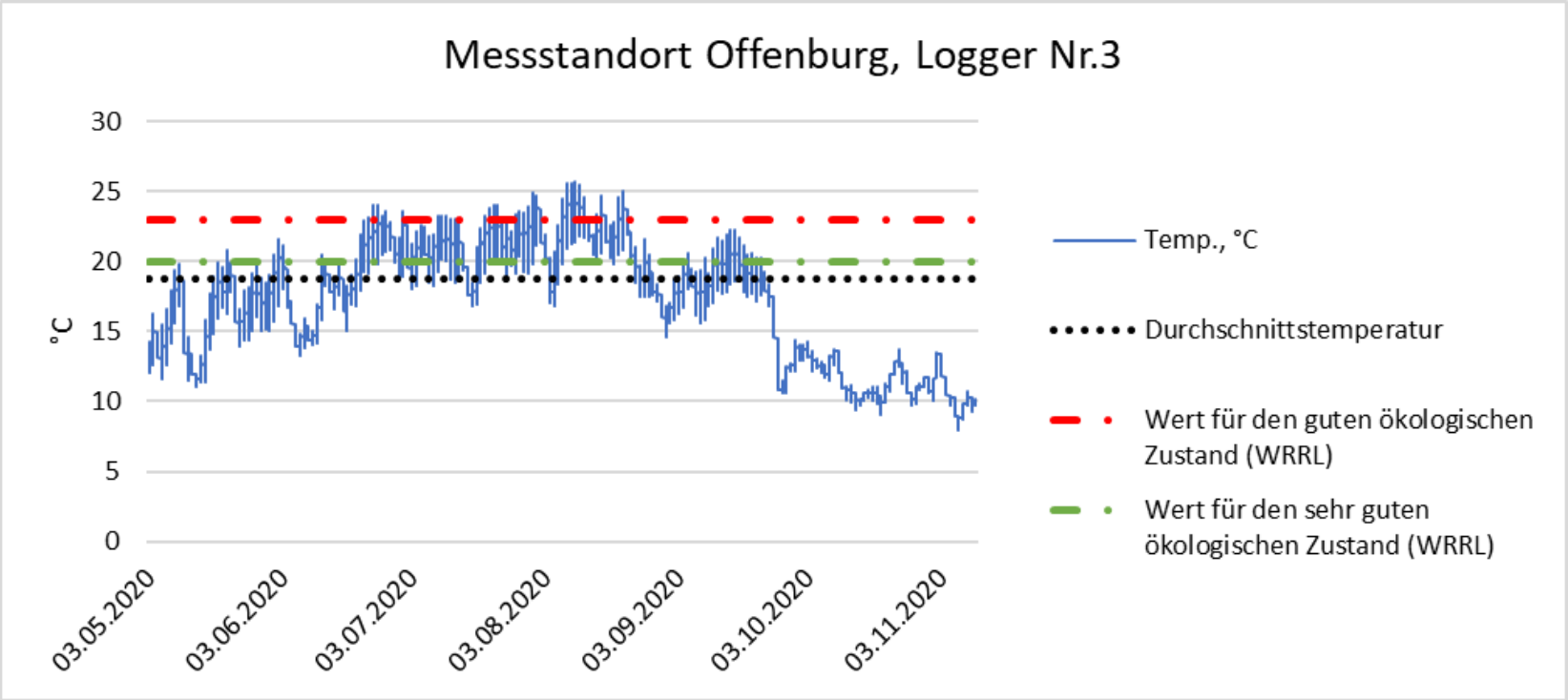


Abbildung 17: Temperaturverlauf Offenburg, Nr.3

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie werden alle Logger dem CR (Cyprinidengeprägte Gewässer des Rhithrals) zugeordnet, also der Äschen/Barbenregion. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 23°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 20°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 27 bis 45 Tagen wurde die Temperatur von 23 °C überschritten. 20°C wurden an insgesamt 76 bis 95 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 13: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Offenburg

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Barbe	Mai-Juli	8,8				
Döbel	April-Juli	8,8				
Gründling	April-August	8,8				
Hasel	März-April	8,8		-	-	
Nase	März-Mai	8,8				
Elritze	April-Juni	6,9				
Schmerle	April-Juni	6,9				
Schneider	Mai-Juli	6,9				
Äsche	März-April	5,3				
Atlantischer Lachs	November-Februar	5,3				
Aal	März-Juli	4,2				
Groppe	Februar-Mai	3,0				
Bachforelle	Oktober-Dezember	3,0				
Rotauge	April-Mai	2,4	-			-
Barsch	März-Juni	2,4				
Ukelei	April-Juni	2,0				
Hecht	Februar-Mai	1,6				

Alle Logger in Offenburg entsprechen der gleichen Referenz-Fischzönose. Alle Fischarten mit einer Dominanz >5% bilden die Leitfischarten. Eine Dominanz von 1-5% entspricht den „typspezifischen Arten“. Die Nase hat hier ihr Hauptverbreitungsgebiet. Laube und Hecht treten hier erstmals als typspezifische Arten in Erscheinung. Die maximal erreichten Temperaturen unterscheiden sich kaum von den Messtandorten in Hausach. Da die Maximaltemperatur zur Bewertung der Temperaturverhältnisse herangezogen wird, unterscheiden sich die Ergebnisse gegenüber den Messstandorten in Hausach nicht, zusätzlicher thermischer Stress für viele Arten ist allerdings anzunehmen. Die durchschnittlichen Temperaturen sind gegen den Messstandorten in Hausach um fast 2°C erhöht.

Allgemein sind die Temperaturbedingungen für Arten des Salmoniden-Rhithrals und Cypriniden-Rhithrals nicht im ertragbaren Bereich. Für Barbe, Nase, Elritze, Äsche, Schmerle, Schneider, Äsche, Atlantischer Lachs und Groppe sind die Temperaturen langfristig nicht annehmbar und eine Anpassung über das Aufsuchen kühlerer Gewässerabschnitte ist zwingend notwendig. Die typischen Arten des Potamals wie Rotauge, Barsch, Hecht und Aal finden hier gute

Temperaturbedingungen vor. Der Standort scheint für die nach Referenz-Fischzönose eigentlich verbreiteten und bestandsbildenden Arten deutlich zu warm. Anzunehmen ist, dass Arten aus dem Potamal aufgrund der geeigneten Temperaturverhältnisse aus den Regionen weiter flussabwärts migrieren werden. Bereits am Messstandort in Hausach war dies zu beobachten.

5.1.5 Messstandorte Willstätt

Tabelle 14: Temperaturkennwerte Willstätt, alle Logger

Standort	Kinzig bei Willstätt							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 20°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (25°C)
Logger Nr.1	03.05.2020 bis 03.11.2020 (185)	11.08.20, 21:00 Uhr 26,68°C	20.10.20, 14:30 Uhr 10,06°C	20,06°C	31.07.20 Δ 4,9°C Temperatur-unterschied	1,38°C	97 Tage (52,4% der Gesamttage)	10 Tage (5,4% der Gesamttage)
Logger Nr.2	03.05.2020 bis 03.11.2020 (174)	12.08.20, 15:30 Uhr 26,39°C	20.10.20, 15:30 Uhr 10,36°C	19,69°C	11.05.20 Δ 4,1°C Temperatur-unterschied	1,57°C	83 Tage (47,4% der Gesamttage)	7 Tage (4 % der Gesamttage)
Logger Nr.3	03.05.2020 bis 03.11.2020 (185)	11.08.20 19:00 Uhr 27,96°C	20.10.20 15:30 Uhr 10,16°C	20,41°C	11.05.20 Δ 5,1°C Temperatur-unterschied	2,17°C	113 Tage (61% der Gesamttage)	16 Tage (8,6% der Gesamttage)

Logger Nr.2 in Willstätt ist an insgesamt 11 Tagen trockengefallen. Die Durchschnittstemperaturen und Maximaltemperaturen steigen weiter an. Der Gewässerkörper ist inzwischen sehr groß. Natürlicherweise nehmen die Schwankungen im Tagesverlauf ab, die Wärmekapazität ist erhöht und das Gewässer reagiert langsamer auf die Einstrahlung (Jungwirth et al. 2003). Auffallend sind die deutlich höheren Werte an Logger Nr.3. Anzunehmen ist, dass dies durch die Stauhaltung 4,5 km flussaufwärts ausgelöst wird. Ein angestauter Gewässerkörper erhitzt sich schnell und wird anschließend in die Kinzig abgelassen. Der Effekt verstärkt sich durch die niedrigen Wasserstände unterhalb der Stauhaltung. Durch die geringe Wassertiefe erhitzt sich der Gewässerkörper zusätzlich schneller (Löser et al. 2011). Die Tage über 20°C bzw. 25°C steigen an Logger Nr.3 signifikant an. Wärmster Monat war an allen Loggern der August mit einer durchschnittlichen Temperatur von 22,57°C (Logger Nr.1), 23,07°C (Logger Nr.2) und 22,57°C (Logger Nr.3).

Bewertung nach WRRL

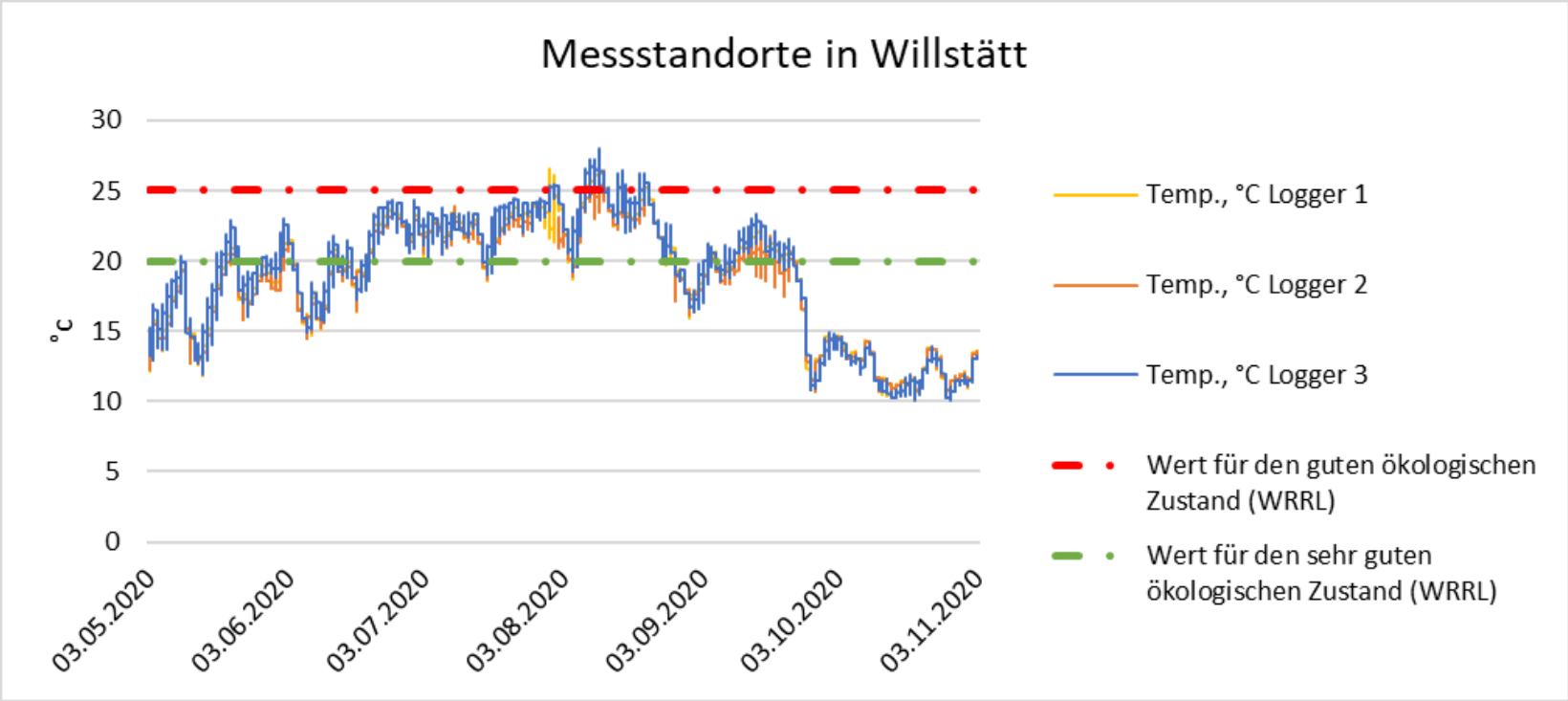


Abbildung 18: Temperaturverlauf Willstätt, alle Logger

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie werden alle Logger dem EP (Gewässer des Epipotamal) zugeordnet, also der unteren Barbenregion. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 25°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 20°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 7 bis 16 Tagen wurde die Temperatur von 25 °C überschritten. 20°C wurden an insgesamt 83 bis 113 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Die Temperatur für den guten ökologischen Zustand wird in den Monaten August und September nur kurzfristig überschritten, während die Temperatur für den sehr guten ökologischen Zustand an fast allen Tagen zwischen Juli und August überschritten wird. Eine genauere Einordnung der Temperaturverhältnisse für die Arten dieser Fischgemeinschaft folgt im nächsten Abschnitt.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 15: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Willstätt

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Barbe	Mai-Juli	8,6				
Barsch	März-Juni	8,6				
Döbel	April-Juli	8,6				
Hasel	März-April	8,6		-	-	
Nase	März-Mai	8,6	-			
Rotauge	April-Mai	8,6	-			
Ukelei	April-Juni	8,6				
Aal	März-Juli	6,5	-			
Gründling	April-August	6,5	-			
Brachse	Mai-Juni	3,6				
Dreistachliger Stichling	März-Juli	3,3				
Hecht	Februar-Mai	2,3				
Elritze	April-Juni	1,9				
Kaulbarsch	März-Mai	1,9				
Schmerle	April-Juni	1,9				
Schneider	Mai-Juli	1,9				
Güster	Mai-Juni	1,3				
Giebel	Mai-Juli	1,0				
Karpfen	Mai-Juli	1,0				

Nicht alle typspezifischen Arten der Referenz-Fischzönose werden bewertet. Die Tage über 25°C belaufen sich an diesem Messstandort auf lediglich 7-16 Tage im Messzeitraum. Daher kann angenommen werden, dass für Barsch, Döbel, Rotauge, Aal und Hecht gute Temperaturbedingungen vorliegen. Diese Arten haben alle ein oberes Optimum von 26°C. Die Einordnung in ungünstige Verhältnisse wäre nicht den Toleranzen wärmeadaptierter Arten entsprechend, kurzzeitig können Temperaturen außerhalb des Optimalbereichs ertragen werden. Der Toleranzbereich bis zum Oberen Maximum dieser Arten ist deutlich weiter gefasst, und liegt je nach Art zwischen 30 und 34°C (Küttel et al. 2002) An Logger Nr.3 wurde die Temperaturen von 26°C lediglich an 6 Tagen überschritten. Insgesamt sind die Arten des Potamals wenig beeinflusst, Karpfenartige (Cyprinidae) sind temperaturresistenter. Die erreichten Temperaturen sind für die Arten des

Salmoniden-Rhithrals und Cypriniden-Rhithrals deutlich zu hoch. Die Elritze, einzige aus dem Salmoniden-Rhithral noch als typspezifische Art vorkommender Vertreter, bildet hier die Ausnahme. Der Optimalbereich wird analog dem Maximalwert nach WRRL (25°C) nur an 7-16 Tagen überschritten. Ein Fortbestehen am Standort ist aus Temperaturverhältnissen weiterhin wahrscheinlich. Die dem Cypriniden-Rhithral entsprechenden Arten Barbe und Nase können hier nicht weiter fortbestehen, die Temperaturen liegen deutlich außerhalb des Optimalbereichs, letale Temperaturen werden allerdings nicht erreicht. Der Döbel und Gründling, ebenfalls Arten des Cypriniden-Rhithrals können hier weiter bestehen, die erreichten Temperaturen liegen innerhalb des Optimalbereichs. Beide Arten sind den Karpfenartigen Fischen zuzuordnen. Auffällig ist, dass bei den Karpfenartigen hohe Unterschiede in Bezug auf die tolerierbare Temperaturspanne bestehen. Nase und Barbe gehören ebenfalls den Karpfenartigen an, sind aber deutlich außerhalb ihres Optimalbereichs.

5.1.6 Messstandort Auenheim

Tabelle 16: Temperaturkennwerte Auenheim

Standort	Kinzig bei Auenheim							
	Zeitraum der Messung (Messdauer in Tagen)	Maximale Temperatur	Minimale Temperatur	Durchschnitts-temperatur	Maximale Temperatur-schwankungen	Durchschnittliche Temperatur-schwankungen im Tagesverlauf	Tage über 20°C (sehr guter Zustand nach WRRL)	Tage über Maximalwert der WRRL (25°C)
Logger Nr.1	03.05.2020 bis 07.11.2020 (189)	11.08.20, 17:00 Uhr 26,59°C	07.11.20, 11:00 Uhr 9,18°C	20,21°C	08.08.20 Δ 4,4°C Temperatur-unterschied	2,33°C	110 Tage (58,2% der Gesamttage)	11 Tage (5,8% der Gesamttage)

Der Logger in Auenheim liegt nur knapp 400m von der Mündung in der Rhein entfernt, die Kinzig hat hier eine Breite von über 100m. Die Temperaturkennwerte ändern sich gegenüber dem Messstandort in Willstätt nur geringfügig. Der wärmste Monat an diesem Messstandort war der August mit einer Durchschnittstemperatur von 22,95°C. Gegenüber den Messstandorten in Willstätt nehmen die durchschnittlichen täglichen Schwankungen wieder zu, der Einfluss der Ufervegetation ist bei einem so breiten Gewässerkörper gering und kann als Ursache für die erhöhten Schwankungen ausgeschlossen werden. Die Kinzig wird hier von einer Vielzahl an anthropogenen Einflüssen beeinträchtigt.

Bewertung nach WRRL

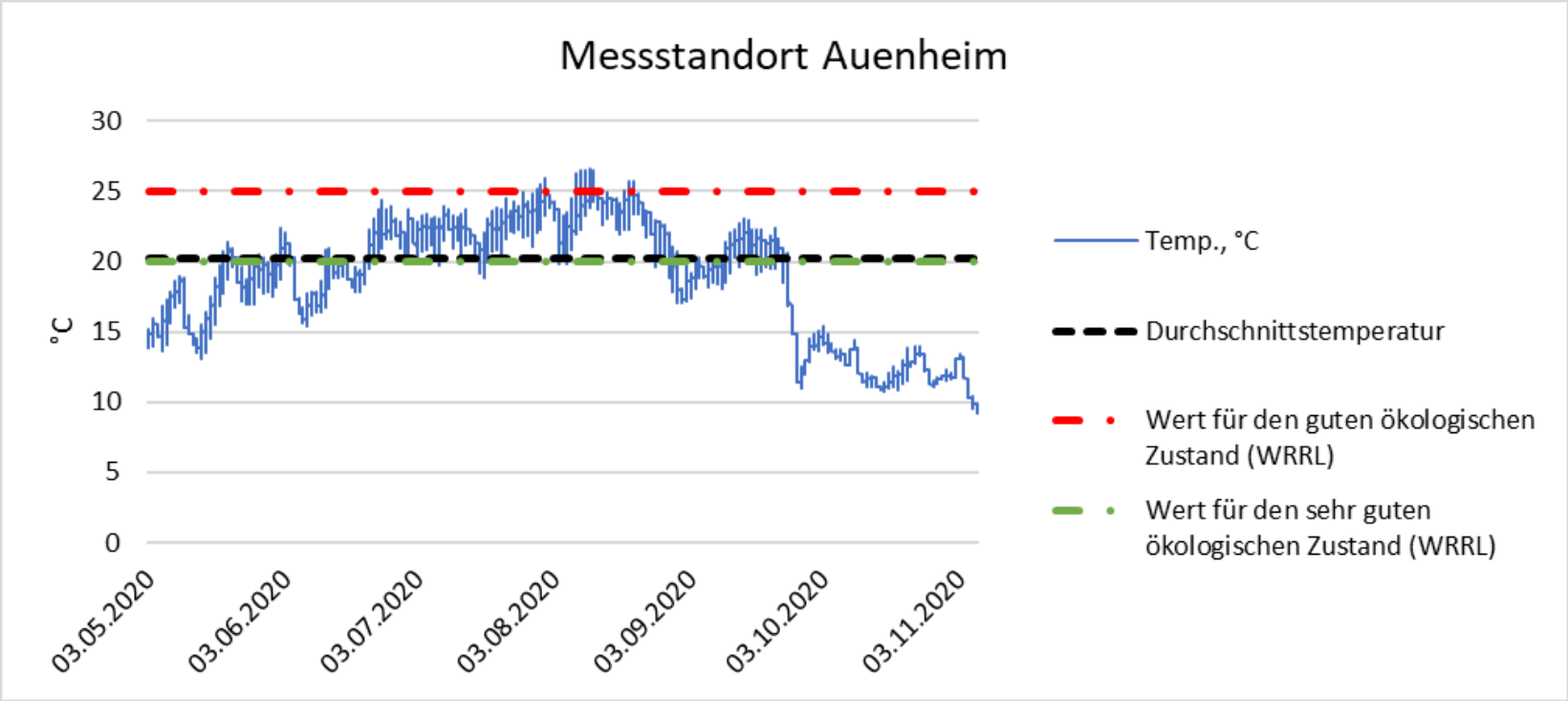


Abbildung 19: Temperaturverlauf Auenheim

Nach Einteilung der Fischgemeinschaften der Wasserrahmenrichtlinie wird der Logger in Auenheim dem EP (Gewässer des Epipotamal) zugeordnet, also der unteren Barbenregion. Hier liegt die maximal „erlaubte“ Temperatur bei 25°C im Sommer, für den sehr guten ökologischen Zustand beträgt die Maximaltemperatur 20°C (siehe Abbildung 9). An insgesamt 11 Tagen wurde die Temperatur von 25°C überschritten. 20°C wurden an insgesamt 110 Tagen überschritten. Der Messstandort entspricht damit weder dem sehr guten noch dem guten Zustand bzw. dem guten ökologischen Potenzial in Bezug auf die maximal erlaubte Temperatur im Sommer. Die Fischfauna erfährt durch die Überschreitung der Orientierungswerte in Bezug auf die Wassertemperatur Entwicklungsdefizite. Der gute ökologische Zustand wird in den Monaten August und September nur kurzfristig überschritten.

Temperaturpräferenzen in unterschiedlichen Entwicklungsstadien

Tabelle 17: Einordnung der Temperaturverhältnisse auf Artenniveau, Auenheim

Fischarten	Fortpflanzungszeit	Referenz-Fischzönose (Anteil in %)	Eier	Juvenil	Adult	Fortpflanzung
Barbe	Mai-Juli	8,6				
Barsch	März-Juni	8,6				
Döbel	April-Juli	8,6				
Hasel	März-April	8,6		-	-	
Nase	März-Mai	8,6	-			
Rotauge	April-Mai	8,6	-			
Ukelei	April-Juni	8,6				
Aal	März-Juli	6,5	-			
Gründling	April-August	6,5	-			
Brachse	Mai-Juni	3,6				
Dreistachliger Stichling	März-Juli	3,3				
Hecht	Februar-Mai	2,3				
Elritze	April-Juni	1,9				
Kaulbarsch	März-Mai	1,9	-			
Schmerle	April-Juni	1,9				
Schneider	Mai-Juli	1,9				
Güster	Mai-Juni	1,3				
Giebel	Mai-Juli	1,0				
Karpfen	Mai-Juli	1,0				

Nicht alle typspezifischen Arten der Referenz-Fischzönose werden bewertet. Die Tage über 25°C belaufen sich an diesem Messstandort auf lediglich 11 Tage im Messzeitraum. Analog zu den Messstandorten in Willstätt werden für die Arten Barsch, Döbel, Rotauge, Aal und Hecht gute Temperaturverhältnisse angenommen, auch wenn die Arten ihren Optimalbereich kurzfristig überschreiten. Wärmeadaptierte Arten ertragen kurzfristige Überschreitungen allgemein besser (Küttel et al. 2002). Die Temperaturkennwerte verändern sich gegenüber den Messstandorten in Willstätt nur geringfügig. Die Einordnung der Temperaturverhältnisse für die jeweiligen Arten bleibt gegenüber Willstätt unverändert. Entsprechend gleich sind die Verhältnisse für die Arten des Salmoniden-Rhithrals und Cypriniden-Rhithrals einzuordnen.

5.2 Zusammenfassende Einordnung der Temperaturwerte im Jahr 2020

Allgemein zeigt sich in Bezug auf die durchschnittlichen Temperaturen in den Monaten Mai bis September erwartungsgemäß ein positiver Temperaturgradient in Fließrichtung bis zu Messstandort Nummer 1 in Offenburg. Ab Offenburg bis in die Mündung in den Rhein nimmt die Durchschnittstemperatur generell weiter zu, ist aber nicht an allen Messstandorten durchgängig zunehmend. Grund hierfür sind die unterschiedlichen menschlichen Einflüsse auf das Temperaturregime der Kinzig. Neben dem Einfluss von zufließenden Nebengewässern sind hier Stauhaltungen oder Einleitungen von erwärmtem Wässern aus der Energiegewinnung o.ä. zu nennen, die Temperaturwerte ändern sich hier in Abhängigkeit von lokalen Faktoren kleinräumig. Die Maximaltemperatur an der Kinzig wird an Logger Nr.3 in Willstätt erreicht, hier werden am 11.08.2020 27,96°C gemessen. Während die maximal erreichten Temperaturen in Schenkenzell bei 20,52°C und an Logger Nr.1 in Wolfach bei 22,53°C liegen, steigt die Temperatur an den flussabwärts liegenden Loggern in Wolfach auf über 25°C, hier ist ein sprunghafter Anstieg der Maximaltemperaturen zu verzeichnen. Im weiteren Verlauf der Kinzig nehmen die Maximalwerte wieder verhältnismäßig gleichbleibend zu.

Die maximal erreichten Schwankungen im Tagesverlauf werden in den Monaten Mai, Juni und August erreicht. Die zweite Hälfte im Monat Mai war im Jahr 2020 im Untersuchungsgebiet sehr sonnenreich. Auch die Monate Juli und August waren durch eine hohe Sonnenscheindauer geprägt (DWD 2022). Die Schwankungen im Tagesgang werden durch einige Faktoren bestimmt, dazu zählen die Ufervegetation, Grund- und Quellwasserbeeinflussung und allgemein die Größe des Gewässerkörpers und die damit verbundene Wärmekapazität (Jungwirth et al. 2003). Der Rekordwert wurde in Hausach erreicht, dort wurde am 30.07.2020 eine Temperaturschwankung im Tagesverlauf von 8,2°C gemessen. Generell ist der Verlauf der maximalen Schwankungen und durchschnittlichen Schwankungen im Tagesverlauf indifferent, hier kann kein klarer Trend ermittelt werden. Die Kinzig befindet sich allgemein, und besonders ab Hausach flussabwärts, in einem naturfernen Zustand, die Anzahl an möglichen Einflussfaktoren ist groß und der natürliche Temperaturgradient gestört.

Die höchsten Wassertemperaturen werden in den Monaten Juli und August erreicht. Sowohl die maximal erreichte Temperatur als auch die Durchschnittstemperaturen sind in diesen Monaten am höchsten. Für kaltstenotherme Arten stellt diese Zeit einen besonders kritischen Bereich dar.

Werden die Maximalwerte der Wasserrahmenrichtline für die Wassertemperaturen in den Sommermonaten zur Bewertung der Temperaturverhältnisse in Bezug auf die Fischfauna herangezogen zeigt sich, dass an allen Messstandorten die Temperaturen für den guten ökologischen Zustand überschritten werden. Die Anzahl der Tage, an denen die Maximaltemperatur überschritten wird, unterscheidet sich je nach Messstandort bzw. Fischgemeinschaft sehr. Im Oberlauf (Salmoniden Meta- und Hyporhithral), entsprechend den Messstandorten Schenkenzell und Wolfach Nr.1, werden die Maximalwerte nur kurzfristig überschritten. Im Mittelauf, analog dem Cypriniden-Rhithral werden die Maximalwerte sehr häufig überschritten, für die Leitarten dieser Gewässerabschnitte werden die erreichten Temperaturen in den Sommermonaten kritisch. Im Potamal, den Messstandorten in Willstätt und Auenheim entsprechend, werden die Tage über dem Maximalwert nach WRRL wiederum nur selten überschritten. Die Werte für den sehr guten ökologischen Zustand werden an allen Messstandorten deutlich überschritten. Bereits in Schenkenzell wird an 25% der gemessenen Tage der Wert von 18°C überschritten und nimmt bis Wolfach (Logger Nr.3) auf über 50% der Tage zu. Durch die sich veränderten Temperaturorientierungswerte ab Wolfach sinkt die Zahl der Tage dann bei Hausach wieder auf 30-35% der Tage, nimmt flussabwärts dann aber sukzessive zu, in Auenheim und Willstätt überschreiten ca. 60% der Tage den Wert für den sehr guten ökologischen Zustand. Der sehr gute ökologische Zustand fasst vorwiegend die kälteliebenden Arten ins Auge, hier kann deutlich gezeigt werden, dass die Temperaturen im Jahr 2020 für diese Arten sehr kritisch sind.

Die Bewertung nach Wasserrahmenrichtlinie spiegelt sich in der Betrachtung der Temperaturpräferenzen auf Artenniveau wider. Am Messstandort Schenkenzell zeigt sich bereits, dass die kaltstenothermen Arten Bachforelle und Groppe keine günstigen Temperaturbedingungen mehr auffinden, damit finden sie auf dem untersuchten Gewässerabschnitt von 74km keine Temperaturbedingungen im Optimalbereich. Diese Fischarten müssen in den Gewässern weiter nach oben wandern, um Temperaturen innerhalb des Optimalbereichs aufzufinden. Die Begleitarten Elritze und Schmerle sind etwas temperaturtoleranter und die Eignung als Lebensraum ist aus Temperaturverhältnissen im Jahr 2020 am Messstandort Schenkenzell und Wolfach Nr.1 und weiter flussabwärts weiterhin gegeben. Die Äsche, eigentlich eine Leitart der Fischregionen unterhalb, findet in Schenkenzell und Wolfach Nr.1 gute Temperaturbedingungen vor. Auch auffällig ist, dass die Barbe hier bereits relativ gute Temperaturbedingungen auffindet – zumindest in den Entwicklungsstadien Juvenil und Adult. Ihr ursprünglich angestammter Lebensraum/Fischregion liegt deutlich weiter unten in der Kinzig. An den flussabwärts befindlichen Standorten sind die Temperaturverhältnisse für die Barbe und Äsche ungünstig, eine Migration in höher gelegene Gewässerabschnitte ist wahrscheinlich. Ähnliche temperaturbedingte Verschiebungen sind für juvenile Atlantische Lachse anzunehmen, auch hier liegen die optimalen Temperaturverhältnisse flussaufwärts der eigentlichen Hauptverbreitung an den Messstandorten in Offenburg, Hausach und Wolfach (Nr.2 und Nr.3), die Bedingungen sind aber nur an den Messstandorten in Schenkenzell und Wolfach (Nr.1) innerhalb des Optimalbereichs.

Der Döbel als Ubiquist findet an allen Messstandorten gute Bedingungen vor. Er kann seine Lebensräume durch die steigenden Temperaturen weiter ausweiten. Vergleicht man die Temperaturpräferenzen der Arten des Potamals mit den Temperaturwerten außerhalb (flussaufwärts) ihrer eigentlichen Hauptverbreitungsgebiete bzw. Fischregionen zeigt sich, dass sie hier bereits gute Temperaturbedingungen auffinden und ihre Lebensräume vermutlich weiter ausbreiten können. Dazu zählt die Mehrheit der Karpfenartigen Fische (Cyprinidae). Auch der Gründling, ab Hausach flussabwärts als Leit- und typspezifische Art auftretend, bewegt sich an allen Messstandorten in einem optimalen Temperaturbereich, es kann davon ausgegangen werden, dass die Art sich flussaufwärts weiter ausbreiten wird.

6 Mögliche Anpassungen und Schutzkonzepte

Die sich verändernden Temperatur- und Niederschlagverhältnisse werden die Bedingungen in Gewässern weiter direkt und indirekt beeinflussen. Es gilt, die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit der Gewässer gegenüber dem Klimawandel nachhaltig zu verbessern. Natürliche Gewässer sind den Herausforderungen des Klimawandels aufgrund ihrer Strukturvielfalt am besten gewachsen (Basen et al. 2022a). So kann die Uferbeschattung bei kleinen Gewässern bis zu 95% der direkten Sonneneinstrahlung zurückhalten, natürliche Gewässerrandstreifen puffern den Eintrag von Nährstoffen in die Fließgewässer (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau 2015). Die Vorteile natürlicher Gewässer sind vielseitig, durch die Strömungsvielfalt wird der Eintrag von Sauerstoff in Gewässer erhöht. Die Situation an den Fließgewässern entspricht aber oftmals nicht diesen wünschenswerten Verhältnissen – Flüsse wurden für die wasserwirtschaftliche Nutzung begradigt, Wasserbauwerke machen ein Wandern in den Gewässern unmöglich und greifen zusätzlich in die natürlichen Abflussdynamiken ein. Es gilt, die Defizite der vergangenen Jahrzehnte zu beseitigen. Nur so haben wir eine Chance, die Biodiversität in unseren Fließgewässern zu bewahren. Als Leitbild dienen die Flüsse selbst, bevor sie menschlich überprägt wurden.

Um einzelne Fischbestände vor dem Sterben zu retten, können kurzfristig sogenannte Sofortmaßnahmen ergriffen werden, dazu zählen nach Gründler et al.:

- Das Bergen von isolierten Fischbeständen, die ohne menschliches Zutun nicht überleben werden
- Schaffung von künstlicher Beschattung, die eine Zuflucht vor hohen Temperaturen ermöglicht
- Künstliche Belüftung
- Das Einrichten von kurzfristigen Kaltwasserrefugien
- Notfallpläne erstellen, die ein schnelles und zielgerichtetes Handeln in Notsituationen ermöglichen

An der Dreisam bei Freiburg wurden im Sommer 2022 Kaltwasserpools errichtet. Die tiefen Stellen in der Gewässersohle sollen den kälteliebenden Arten eine Zuflucht vor zu hohen Temperaturen ermöglichen. Die Wassertemperatur in den Dreisam betrug im August 27°C, die Kältepools waren im 5°C kühler. Zusätzlich wurden Unterstände geschaffen, die den Fischen Schatten spenden und vor Fressfeinden schützen. Es wurden Wurzelstöcke, Baumstämme und große Granitsteine in das Gewässer eingebracht, diese bewirken eine Strömungsveränderung. Dadurch entstehen Kolke, also mehr oder weniger natürliche Tiefwasserzonen (Regierungspräsidium Freiburg 09.09.2022).

Sofortmaßnahmen können aber kein mittel- und langfristiges Handeln abbilden. Die Maßnahmen sind mit viel Aufwand verbunden und können die Biodiversität langfristig nicht sichern.

6.1 Langfristige Maßnahmen

6.1.1 In der Fläche

Die Nutzung der anliegenden Flächen hat einen großen Einfluss auf die Fließgewässer. Gerade durch lange Trockenperioden und Episoden mit Starkniederschlägen ist es wichtig, günstige Bodenstrukturen zu erhalten. Nur so kann eine gute Filter-, Puffer- und Transformationsfunktion gewährleistet werden, diese Funktionen sind wichtig, um den Eintrag von Nährstoffen in die Fließgewässer zu verhindern bzw. abzumildern. Zusätzlich wirken diese Maßnahmen sich positiv auf das Lokalklima in und an den Gewässern aus. Um dies zu gewährleisten und die Funktion als Ausgleich im Wasserkreislauf zu garantieren sind folgende Maßnahmen wichtig (LfU 2021):

- Grünlanderhalt
- Umwandlung von Acker in Grünflächen in Gewässernähe
- Vielgliedrige Fruchtfolgen
- Pfluglose Bearbeitung der Böden
- Eine Bewirtschaftung der Flächen quer zum Hang
- Bodenschonende Bewirtschaftung, um Verdichtung der Böden zu verhindern
- Die Düngung auf das unbedingt notwendige Maß beschränken
- Erhalt und Wiederherstellung von Gewässerrandstreifen
- Kontrolle und konsequente Ahndung illegaler Wasserentnahmen
- Vermeidung von thermischen Einleitungen

Allgemein sollten kühlende Landschaftselemente gefördert werden. Sowohl in den Wäldern (Umwandlung von Nadelforst zu Laubwald), in der offenen Landschaft (z.B. durch Wiedervernässung von Wiesen) als auch in den Ortslagen durch geeignete Gehölzpflanzungen entlang der Gewässer. Soweit möglich, sind versiegelte Flächen zurückzubauen. Niederschlagswasser erhitzt sich auf diesen Flächen und trägt zusätzlich zur Erwärmung der Gewässerkörper bei (BAFU 2020).

6.1.2 An den Gewässern

Durchgängigkeit wiederherstellen

Die Durchgängigkeit der Gewässer spielt bei der Anpassung an den Klimawandel eine große Rolle. Sind die Gewässer nicht durchgängig, können die Fische bei ungünstigen Lebensraumbedingungen keine Habitate mit günstigeren Bedingungen aufsuchen. Gerade während Hitzeperioden und Niedrigwasserphasen ist ein Ausweichen in andere Gewässerabschnitte unbedingt notwendig, um das Fortbestehen der Fischfauna zu sichern. Dabei muss die Durchgängigkeit in beide Richtungen gegeben sein, stromaufwärts um kühlere Bereiche aufzusuchen und stromabwärts in noch wasserführende, strukturreiche Abschnitte mit tiefen Gumpen (LfU 2021). Übersteigen die Temperaturen für mehrere Tage den ertragbaren Bereich und ein Ausweichen in andere Gewässerabschnitte ist nicht möglich, kann es zu massivem Fischsterben kommen. Die Durchwanderbarkeit ist vor allem für die Arten wichtig, die durch den Klimawandel Lebensräume verlieren werden. Daher haben solche Maßnahmen vor allem Priorität im Oberlauf der Kinzig und sollen ein Aufwandern der kälteliebenden Arten ermöglichen. Die Durchgängigkeit der Kinzig ist bis zum Standort Schiltach gegeben. Im Rahmen des Wiederansiedlungsprogrammes für den Lachs konnte eine ökologische Durchgängigkeit geschaffen werden (Regierungspräsidium Freiburg 2021).

Im Oberlauf gilt es Wehranlagen, Abstürze und Wasserkraftanlagen nach Möglichkeit zurückzubauen bzw. die ökologische Durchgängigkeit wieder herzustellen. Hier zeigt sich, dass im Oberlauf ab Schenkenzell große Defizite vorherrschen, die Durchgängigkeit ist auf weiten Strecken nicht gegeben, auch zufließende Nebengewässer sind oftmals nicht durchwanderbar. Diese Maßnahmen zielen

hauptsächlich auf die Arten Bachforelle und Groppe ab, aufgrund des hohen Gefälles und geringer Wasserbreite werden diese Standorte ab einem gewissen Punkt nicht mehr von anderen Arten bewohnt (FFS 2022b). Nach Bewirtschaftungsplänen ist die Kinzig ab Schiltach stromaufwärts an insgesamt 32 Stellen nicht durchgängig (Karte befindet sich im Anhang).

Uferbegleitende Gehölze wiederherstellen

Wie bereits zuvor erwähnt, kann eine standorttypische und unbeeinträchtigte Ufervegetation bis zu 95% der direkten Sonneneinstrahlung zurückhalten (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau 2015). Der Effekt der uferbegleitenden Gehölze ist bei Gewässern mit einer Breite von maximal 5m am höchsten, deshalb gilt es vorrangig im Oberlauf eine uferbegleitende Gehölzstruktur wiederherzustellen. Eine Studie an der Orbe in der Schweiz konnte zudem belegen, dass eine Ufervegetation auf einer 400m langen Strecke die Wassertemperatur um bis zu 4°C absenken kann (Moosmann et al. 2005). Zuerst sollte dabei der ganze Fluss analysiert werden und Strecken mit besonderem Defizit im Ober- und Mittellauf herausgearbeitet werden. Generell gilt, dass längere Abschnitte einen größeren Effekt auf die Wassertemperatur haben als kurze, besonders dichte Abschnitte (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau 2015).

Zuflüsse als Kaltwasserrefugium

Zufließende Nebengewässer können die Kinzig mit kühlerem Wasser versorgen und bieten so Zuflucht vor zu hohen Temperaturen und Sauerstoffmangel. Im Jahr 2020 haben an der Wolf und Schutter Temperaturmessungen stattgefunden.

Die Wolf fließt der Kinzig bei Wolfach zu. Die Temperaturen der Wolf sind allerdings problematisch, die durchschnittlichen Temperaturen liegen in etwa gleich zu den Messstandorten Wolfach Nr.2 und Nr.3. Zuflucht vor warmen Temperaturen kann die Wolf damit nicht ermöglichen. Demnach erhitzt sich die Wolf auf ihren 31km Fließstrecke bis zur Mündung in die Kinzig ebenfalls stark. Die durchschnittlichen Temperaturen an der Wolf belaufen sich im Juli und August auf 19,43°C. Die Durchschnittstemperatur der Kinzig beläuft sich auf 19,49°C. Die täglichen Schwankungen liegen in den Monaten Mai-September bei 3,8°C und somit in etwa gleich zu den Werten in der Kinzig an Logger Nr.2 und Logger Nr.3 (3,8°C bzw. 3,97°C). Damit kann kein signifikanter Temperaturunterschied zwischen den zwei Gewässern festgestellt werden.

Die Schutter fließt der Kinzig bei Neumühl im Unterlauf zu. Die durchschnittlichen Temperaturen belaufen sich in den Monaten Juli und August in der Schutter auf 22,4°C, in der Kinzig (Messstandort Nr.3 in Willstätt) auf 22,7°C. Auch hier kann kein signifikanter Temperaturunterschied festgestellt werden.

Weitere Zuflüsse der Kinzig müssen auf ihre Eignung als Kaltwasserrefugium geprüft werden.

Fazit des Maßnahmenteils

Eine auf weiten Teil kombinierte Anwendung von empfohlenen Maßnahmen kann die Effekte des Klimawandels auf die Gewässer abmildern. Davon profitiert nicht nur die Fischfauna, allgemein resultiert daraus ein ausgeglichenen Lokalklima, Landschafts- und Ortsbild werden durch die Maßnahmen zusätzlich verbessert. Zur kurz- und mittelfristigen Verbesserung des Temperaturregimes sind die Maßnahmen an den Gewässern vorrangig, sie haben den größten Effekt auf die Wassertemperatur. Auf lange Sicht sollten auch die Maßnahmen in der Fläche umgesetzt werden, damit die Auswirkungen des Klimawandels auf die Fließgewässer gedämpft werden können (Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau 2015).

7 Zusammenfassung und Ausblick

Die Auswirkungen des Klimawandels machen keinen Halt vor den Gewässerlandschaften. Die ansteigenden Lufttemperaturen, die Veränderung des Klimas und die zunehmende Sonneneinstrahlung beeinflussen die Temperaturverhältnisse in Fließgewässern. In vorliegender Arbeit soll gezeigt werden, welche möglichen Folgen für die Fischfauna durch den Klimawandel zu erwarten sind. Fische sind wechselwarme Tiere. Die Körpertemperatur der Fische wird maßgeblich über die Umgebungstemperatur gesteuert. Dabei haben die Arten eine unterschiedliche ertragbare Temperaturspannen. Arten wie die Bachforelle sind auf kühle Wassertemperaturen, auch in den Sommermonaten, angewiesen. Karpfenartige Fische ertragen hohe Temperaturen besser.

Um die Auswirkungen der Temperaturerhöhung auf die Fischfauna der Kinzig zu untersuchen, wurden im Jahr 2020 Temperaturlogger in der Kinzig installiert. Bestandteil der Untersuchung ist eine Fließstrecke von 74km, auf der insgesamt 19 Datenlogger eingebracht wurden. Die Logger erfassten die Wassertemperatur halbstündlich über einen Zeitraum von 5-6 Monaten in der Sommerzeit. Diese Temperaturkennwerte werden mit den Temperaturpräferenzen der einzelnen Arten und der für die Fischregionen maßgeblichen Orientierungswerte verglichen. Zusätzlich wird der Temperaturverlauf der Kinzig beschrieben und soll Aufschlüsse über weitere mögliche Einflussfaktoren auf die Wassertemperatur ermöglichen.

Die durchschnittlichen Temperaturen und Maximalwerte sind in Fließrichtung generell zunehmend, werden aber durch anthropogene Einflussfaktoren kleinräumig beeinflusst. Besonders auffällig ist der Anstieg der Maximal- und Durchschnittstemperaturen ab dem Messstandort Nr.1 in Wolfach flussabwärts. Als Grund hierfür können nicht nur die steigenden Lufttemperaturen und die erhöhte Sonnenscheindauer Ursache sein. Die anthropogene Überprägung der Kinzig beeinflusst die Temperaturverhältnisse der Kinzig ab diesem Messstandort zusätzlich negativ.

Die ausgewerteten Temperaturlogger zeigen für viele Fischarten Temperaturwerte in einer kritischen Höhe. Bereits im Oberlauf werden für die dort typischen Arten Bachforelle und Groppen Temperaturen erreicht, die außerhalb des Optimalbereichs liegen. Äsche und Barbe finden in ihren nach Referenz-Fischzönose eigentlichen Hauptverbreitungsgebiet weiter flussabwärts keine guten Temperaturverhältnisse vor. Besonders in den Monaten Juli und August werden kritische Werte erreicht. Für diese Arten kann angenommen werden, dass eine Anpassung an die Temperaturen über ein Aufwandern in den Gewässern stattfindet. Arten wie der Karpfen oder Döbel können ihre Lebensräume durch die steigenden Temperaturen weiter ausbreiten. Die Temperaturkennwerte bewegen sich außerhalb ihrer eigentlichen Hauptverbreitung in einem optimalen Bereich.

Die Orientierungswerte der Oberflächengewässerverordnung für den sehr guten als auch guten Zustand bezüglich der biologischen Qualitätskomponente „Fischfauna“ werden an allen Messstandorten überschritten. Für den guten ökologischen Zustand werden die Werte in Schenkenzell (Oberlauf) und im Unterlauf (Willstätt flussabwärts) nur selten überschritten, während im Mittelauf die Überschreitung der Tage auf bis zu 27,9% der Gesamttage ansteigt. Die Leitarten der Barben- und Äschenregion sind von den Temperaturen im Jahr 2020 am stärksten betroffen. Der sehr gute ökologische Zustand wird an allen Messstandorten deutlich überschritten, allgemein zielt dieser Orientierungswert auf kaltstenotherme Arten ab und zeigt deren Gefährdung im Jahr 2020. Bereits im Oberlauf (Schenkenzell) übersteigen 25% der Tage den Orientierungswert, in Willstätt wird an 60% der Gesamttagen der Orientierungswert überschritten.

Die tatsächlichen Folgen des Klimawandels für die Zukunft sind an Gewässern nur schwer abschätzbar. Prognosen zur zukünftigen Entwicklung der Lufttemperatur berechnen für die nahe Zukunft (2021-2050) einen Anstieg um 0,7-2,1°C, für die ferne Zukunft (2071-2100) liegt der Median aller Modellierungen bei 3,1°C. Durch die steigenden Temperaturen kann angenommen werden, dass die Lebensräume für kälteliebende Arten immer kleiner werden. In einer Studie zur zukünftigen Verbreitung der Fischarten in Baden-Württemberg wird aufgrund der steigenden Temperaturen für die Bachforelle ein Lebensraumverlust von 65-70% (je nach Klimawandelszenario) bis 2050 prognostiziert. Dem gegenübergestellt sind die Prognosen für die Fischarten Rotauge und Flussbarsch. Für beide Arten wird bis 2050 ein Zuwachs an potenziellen Lebensräumen von bis zu 40% angenommen (Basen et al. 2022b).

8 Literaturverzeichnis

Armour, C. (1991): Guidance for evaluating and recommending temperature regimes to protect fish. In: *US Department of the Interior, Fish and Wildlife Service* (28).

Baer, J.; Blank, S.; Chucholl, C.; Dußling, U.; Brinker, A. (2014): Die Rote Liste für Baden-Württembergs Fische, Neunaugen und Flußkrebse. Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Würrtemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/rote-listen, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

BAFU (Hg.) (2020): Temperaturverlauf in Fließgewässern. Untersuchung und Visualisierung von Temperatureinflüssen, Ableitung von Maßnahmenvorschlägen. Unter Mitarbeit von Matthias Mende, Pascal Sieber und Thomas Burger. Online verfügbar unter https:https://portal.fischwanderung.ch/files/2021/10/Bericht-Temperaturverlauf-in-Fliessgewässern-2020.pdf//portal.fischwanderung.ch/files/2021/10/Bericht-Temperaturverlauf-in-Fliessgewässern-2020.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

Basen, T.; Chucholl, C.; Brinker, A. (2022a): Auf schmalem Grad° - Die Zukunft unserer Fische in der Klimakrise. Analysen, Vorhersagen und Handlungsmöglichkeiten. 1. Auflage. Stuttgart.

Basen, T.; Ros, A.; Chucholl, C.; Oexle, S.; Brinker, A. (2022b): Who will be where: Climate driven redistribution of fish habitat in southern Germany. In: *PLOS Clim* 1 (5), e0000006. Online verfügbar unter https://journals.plos.org/climate/article?id=10.1371/journal.pclm.0000006, zuletzt geprüft am 08.12.2022.

Beitinger, T.; Bennett, W.; McCauley, R. (2000): Temperature Tolerances of North American Freshwater Fishes Exposed to Dynamic Changes in Temperature. In: *Environmental Biology of Fishes* 58 (3), S. 237–275.

Brasseur, G.; Jacob, D.; Schuck-Zöller, S. (Hg.) (2016): Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. 1. Aufl. 2017. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1491863.

Brett, J. (1956): Some principles in the thermal requirement of fishes. In: *The Quarterly Review in Biology* (31), S. 75–87.

CAISSIE, D. (2006): The thermal regime of rivers: a review. In: *Freshwater Biol* 51 (8), S. 1389–1406.

Crisp, D.; Howson, G. (1982): Effect of air temperature upon mean water temperature in streams in the north Pennis and English Lake District. In: *Freshwater Biol*, S. 359–367.

DFV (2019): Klimawandel und Fischerei. Auswirkungen, Risiken, Chancen und Handlungsfelder. Hg. v. Helmut Wedekind. Hamburg (98). Online verfügbar unter https://www.deutscher-fischerei-verband.de/dokumente.html, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

Dußling U.; Gaye-Siessegger J.; Blank S.; Brinker A. (2020): Zuordnung der Fischgemeinschaften und resultierende Temperaturanforderungen gemäß Oberflächengewässerverordnung in Baden-Württemberg. Hg. v. Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW). Fischereiforschungsstelle (FFS). Aulendorf. Online verfügbar unter https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/site/pbs-bw-new/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_2017/lazbw_ffs/Dokumente_ffs/Umsetzung%20Richtlinien/Wasserrahmenrichtlinie/Bericht_Fischgemeinschaften%20OGewV_19.10.2020.pdf, zuletzt geprüft am 16.09.2022.

DWD (2021): Klimavorhersagen und Klimaprojektionen. Hg. v. Deutscher Wetterdienst. Offenbach am Main. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/SharedDocs/broschueren/DE/klima/broschuere_klimaforschung.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 24.07.2022.

DWD (2022): Wetterrückblick Freudenstadt 2020. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter https://www.dwd.de/DE/wetter/wetterundklima_vorort/baden-wuerttemberg/freudenstadt/_node.html.

FFS (2022a): Fischartenkataster Baden-Württemberg. Fischereiforschungsstelle Langenargen.

FFS (2022b): Referenz-Fischzönosen für Baden-Württemberg. Fischereiforschungsstelle Langenargen. Langenargen. Online verfügbar unter https://lazbw.landwirtschaft-bw.de/pb/,Lde/Startseite/Themen/Referenz-Fischzoenosen, zuletzt geprüft am 07.12.2022.

FIBER (2018): Forellen in der Schweiz. Vielfalt, Biologie und Fortpflanzung. Eine Informationsbroschüre der Schweizerischen Fischereiberatungsstelle FIBER. Kastanienbaum. Online verfügbar unter https://www.fischereiberatung.ch/fileadmin/sites/fiber/angebot/fiber_publ/broschueren/brosch_forellen_de.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

FRY, F.E.J. (1979): The Effect of Environmental Factors on the Physiology of Fish. In: W. Hoar (Hg.): Fish physiology, Bd. 6. [Nachdr.]. New York: Acad. Press (Fish Physiology), S. 1–98.

GÖG (Hg.) (o.J.): Lebendige Rheinauen bei Karlsruhe. Fische. Endbericht. Effizienzkontrolle 2005-2010. Online verfügbar unter https://rp.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/RP-Internet/Karlsruhe/Abteilung_5/Referat_56/Lebendige_Rheinauen/_DocumentLibraries/ErgebnisseundVortrge/Endberichte/03_leb_rhein_endb_fische.pdf, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

Gründler, S.; Schläppi, T.; Sicher, P. (2019): Massnahmenkonzept Hitzesommer und Fischerei. Handbuch für Verbände, Vereine und Angler. Schweizerischer Fischerei-Verband. Bern. Online verfügbar unter https://sfv-fsp.ch/herausforderungen/klimaerwaermung/hitzesommer-und-fischerei/, zuletzt geprüft am https://sfv-fsp.ch/herausforderungen/klimaerwaermung/hitzesommer-und-fischerei/.

Haag, I. (2009): Die mögliche Wirkung des Klimawandels auf Wassertemperaturen von Fliessgewässern. Erläuterungsbericht. Hg. v. WWF Deutschland. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Wirkung_des_Klimawandels_auf_Wassertemperaturen_von_Fliessgewaessern.pdf, zuletzt geprüft am 22.07.2022.

Hanfland, S. (2020): Die Regenbogenforelle in Bayern. Pro und Contra Besatz an freien Gewässern. Hg. v. LFVB. Oberschleißheim. Online verfügbar unter https://www.fischereiverein-lenggries.de/wp-content/uploads/2020/08/Die-Regenbogenforelle-in-Bayern.pdf, zuletzt geprüft am 30.11.2022.

Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau (2015): Das Potential der Ufervegetation zur Minderung von Effekten des Klimawandels auf biologische Lebensgemeinschaften kleiner bis mittelgroßer Fließgewässer. Wien. Online verfügbar unter https://www.klimawandelanpassung.at/newsletter/kwa-nl14/kwa-bioclic, zuletzt geprüft am 07.12.2022.

IPCC (2022): Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Naturwissenschaftliche Grundlagen. Beitrag von Arbeitsgruppe I zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen. Hg. v. Deutsche IPPC-Koordinierungsstelle. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. Wien, Bern. Online verfügbar unter https://www.de-ipcc.de/270.php, zuletzt geprüft am 03.07.2022.

Jungwirth, M.; Haidvogl, G.; Moog, O.; Muhar, S.; Schmutz, S. (2003): Angewandte Fischökologie an Fließgewässern. Wien: Facultas Universitätsverlag.

Keiz, K.; Asner, R.; Schnell, J. (2015): Mögliche Auswirkung von Temperaturveränderungen auf die Fischfauna. Hg. v. Landesfischereiverband Bayern E.V. München. Online verfügbar unter https://lfvbayern.de/download/klimawandel-in-bayerns-gewaessern, zuletzt geprüft am 03.07.2022.

KLIWA (2012): Auswirkungen des Klimawandels auf Bodenwasserhaushalt und Grundwasserneubildung in Baden-Württemberg, Bayern und Rheinland-Pfalz. Untersuchungen auf Grundlage von WETTREG2003- und WETTREG2006-Klimaszenarien ; KLIWA-Projekt B 3.3.1 Simulation der Grundwasserneubildung mit regionalen Klimaszenarien. Karlsruhe: Landesanstalt für Umwelt Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (KLIWA-Berichte, 17).

KLIWA (2017): Klimawandel im Süden Deutschlands. Herausforderungen - Anpassungen. Hg. v. LUBW. Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.kliwa.de/_download/broschueren/KLIWA-Broschuere-2016-d.pdf, zuletzt geprüft am 14.09.2022.

Küttel, S.; Peter, A.; Wüest, A. (2002): Rhône Revitalisierung. Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Hg. v. Eawag. Schweiz. Online verfügbar unter https://plattform-renaturierung.ch/mediathek/temperaturpraeferenzen-und-limiten-von-fischarten-schweizerischer-fliessgewaesser/, zuletzt geprüft am 03.07.2022.

Langford, T. (1990): Ecological effects of thermal discharges. London: Elsevier Applied Science (Pollution monitoring series).

LAWA (Hg.) (2021): Temperaturempfindlichkeiten der Fischgemeinschaften in deutschen Fließgewässern -Überprüfung der Orientierungswerte für die Temperatur. Online verfügbar unter http://www.laenderfinanzierungsprogramm.de/projektberichte/lawa/, zuletzt geprüft am 27.11.2022.

LfU (Hg.) (2021): Arbeitshilfe: Klimawandel und kleine Gewässer. Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter https://www.lfu.bayern.de/wasser/gewaessernachbarschaften/themen/klimawandel_kl_gewaesser/doc/arbeitshilfe.pdf, zuletzt geprüft am 25.07.2022.

LFVBW (Hg.) (2011): Lebensraumveränderungen durch Wasserkraftnutzung un deren Einfluss auf die Fischfauna und Fischerei. Unter Mitarbeit von G. Bartl. Landesfischereiverband Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter https://lfvbw-verband.de/labor/wp-content/uploads/2016/02/images_beitraege_Projekte_Symposium_kleine_Wasserkraft.pdf#page=53, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Löser, R.; Schneider, P.; Gottschalk, N.; Ihling, H.; Kuhn, K.; Spänhoff, B. (2011): Wassertemperaturen und Klimawandel. Hg. v. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). Online verfügbar unter https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/15101, zuletzt geprüft am 03.12.2022.

LUBW (2005): Mindestabflüsse in Ausleitungsstrecken. Grundlagen, Ermittlung und Beispiele. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe (Oberirdische Gewässer, Gewässerökologie). Online verfügbar unter https://www.lrasbk.de/media/custom/2961_879_1.PDF?1528727574, zuletzt geprüft am 10.12.2022.

LUBW (2013): Zukünftige Klimaentwicklungen in Baden-Württemberg. Perspektiven aus regionalen Klimamodellen. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe. Online verfügbar unter http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/229984/zukuenftige_klimaentwicklung_lang.pdf?command=downloadContent&filename=zukuenftige_klimaentwicklung_lang.pdf, zuletzt geprüft am 19.10.2022.

LUBW (2016): Klimawandel in Baden-Württemberg. Fakten - Folgen - Perspektiven. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe. Online verfügbar unter https://www.fortbildung-klimawandel.de/wp-content/uploads/2017/01/klimawandel_in_baden_wuerttemberg.pdf, zuletzt geprüft am 10.12.2022.

LUBW (2021): Hohe Temperaturen und Trockenheit hinterlassen ihre Spuren. Eine klimatische Einordnung des Jahres 2020 für Baden-Württemberg. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Karlsruhe. Online verfügbar unter https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/10192, zuletzt geprüft am 19.10.2022.

LUBW (2022): Daten- und Kartendienst der LUBW. Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg (LUBW). Online verfügbar unter https://udo.lubw.baden-wuerttemberg.de/public/, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Melcher, A.; Pletterbauer, F.; Kremser, H.; Schmutz, S. (2013): Temperaturansprüche und Auswirkungen des Klimawandels auf die Fischfauna in Flüssen und unterhalb von Seen. In: *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft* 65 (11-12), S. 408–417.

Moosmann, L.; Schmid, M.; Wüest, A. (2005): Einfluss der Beschattung auf das Temperaturregime der Orbe. Hg. v. Eawag (Eidgenössische Anstalt fur Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz. Kastanienbaum. Online verfügbar unter https://www.eawag.ch/de/abteilung/surf/, zuletzt geprüft am 08.12.2022.

Mosley, M. P. (1983): Variability of water temperatures in the braided Ashley and Rakaia rivers. In: *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* (17), S. 331–342.

Müller, H.; Bährmann, R. (Hg.) (1991): Ökologie. Mit 11 Tabellen. 2., überarb. Aufl. Jena: Fischer (UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher Biologie, 1318).

Piatka, D.; Barth, A.; Wild, R.; Geist, J.; Kaule, R.; Kaule, L. et al. (2022): Ein begehrter Treibstoff: Gelöster Sauerstoff in Gewässern. In: *Korrenspondenz Wasserwirtschaft* (7), S. 416–421. Online verfügbar unter https://www.bayklif.de/wp-content/uploads/downloads/piatka-et-al-2022_dwa.pdf, zuletzt geprüft am 29.09.2022.

Regierungspräsidium Freiburg (2021): Teilbearbeitungsgebiet 32 Kinzig. Freiburg. Online verfügbar unter https://rp.baden-wuerttemberg.de/themen/wasserboden/wrrl/tbg32/begleitdokumentation/, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Regierungspräsidium Freiburg (09.09.2022): Rückzugsraum für Fische: Regierungspräsidium stattet die Dreisam in Freiburg mit Kaltwasserpools aus. Auf Höhe der Brauerei Ganter entsteht ein Pilotprojekt für die kommenden Nierdrigwasserzeiten. Online verfügbar unter https://lfvbw.de/rueckzugsraum-fuer-fische-regierungspraesidium-stattet-die-dreisam-in-freiburg-mit-kaltwasserpools-aus/, zuletzt geprüft am 07.12.2022.

Reinartz, R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns. Hg. v. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Wielenbach.

Umweltbundesamt (2002): Bestandsaufnahme und Bewertung von Neozoen in Deutschland. Berlin. Online verfügbar unter https://www.jagdverband.de/sites/default/files/2002_forschungsbericht_des_bmu_bestandsaufnahme_und_bewertung_von_neozoen_in_deutschland_0.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2022.

Webb, B.; ZHANG, Y. (1997): Spatial and seasonal variability in the components of the river heat budget. In: *Hydrol. Process.* 11 (1), S. 79–101.

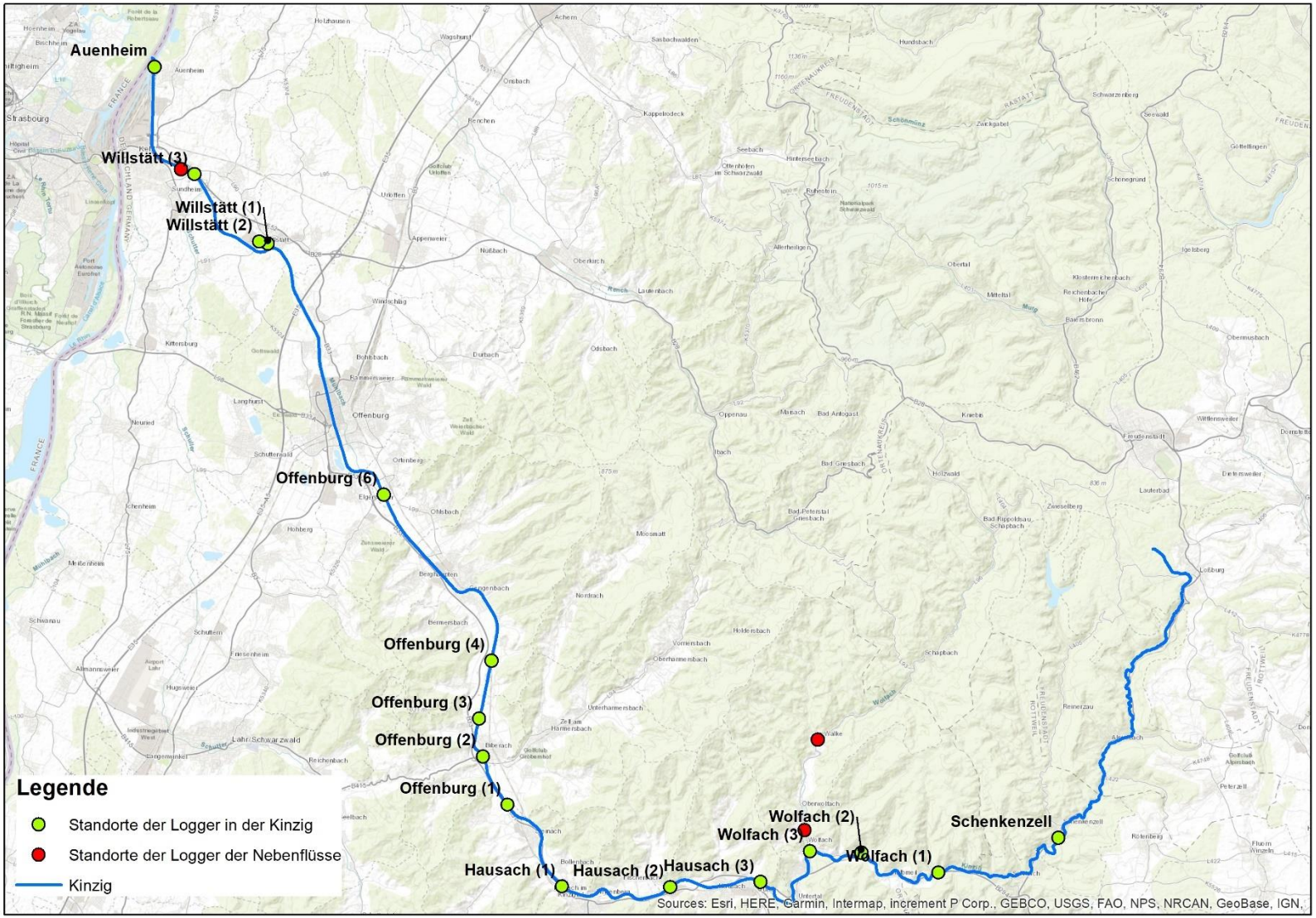
9 Anhang

	Temperatur-bereich	Aal	Äsche	Atlantischer Lachs	Bachforelle	Barbe	Barsch	Brachse	Döbel	Dreistachliger Stichling	Elritze	Giebel	Groppe
Eier	Maximum	-	16	16	14	22	30	28	30	28	21	29	-
	Oberes Optimum		14	11	9	21	26	22	24	18	17	27	
	Unteres Optimum		7	4	1	14	11	12	16	12	6	14	
	Minimum		0	0	0	8	6	6	10	7	5	14	
Juvenile	Maximum	31	25	33	24	28	30	30	30	31	28	33	27
	Oberes Optimum	26	22	23	14	24	26	27	26	25	25	28	16
	Unteres Optimum	15		7	7	14	8	12	8	12	13	16	5
	Minimum	8		0	0	7	3	6	4	6	3	7	0
Adulte	Maximum	31	25	34	24	28	30	30	38	31	28	33	27
	Oberes Optimum	26	22	21	19	24	26	27	26	23	25	28	16
	Unteres Optimum	15	4	6	4	14	8	12	8	12	13	16	4
	Minimum	8	0	0	0	7	3	6	4	6	3	7	0
Fortpflanzung	Maximum	-	15	8	13	22	20	24	22	26	20	25	14
	Oberes Optimum		10	6	10	20	16	22	20	18	15	20	14
	Unteres Optimum		4	1	1	14	8	12	14	15	11	15	7
	Minimum		6	0	1	8	6	8	10	12	7	10	7

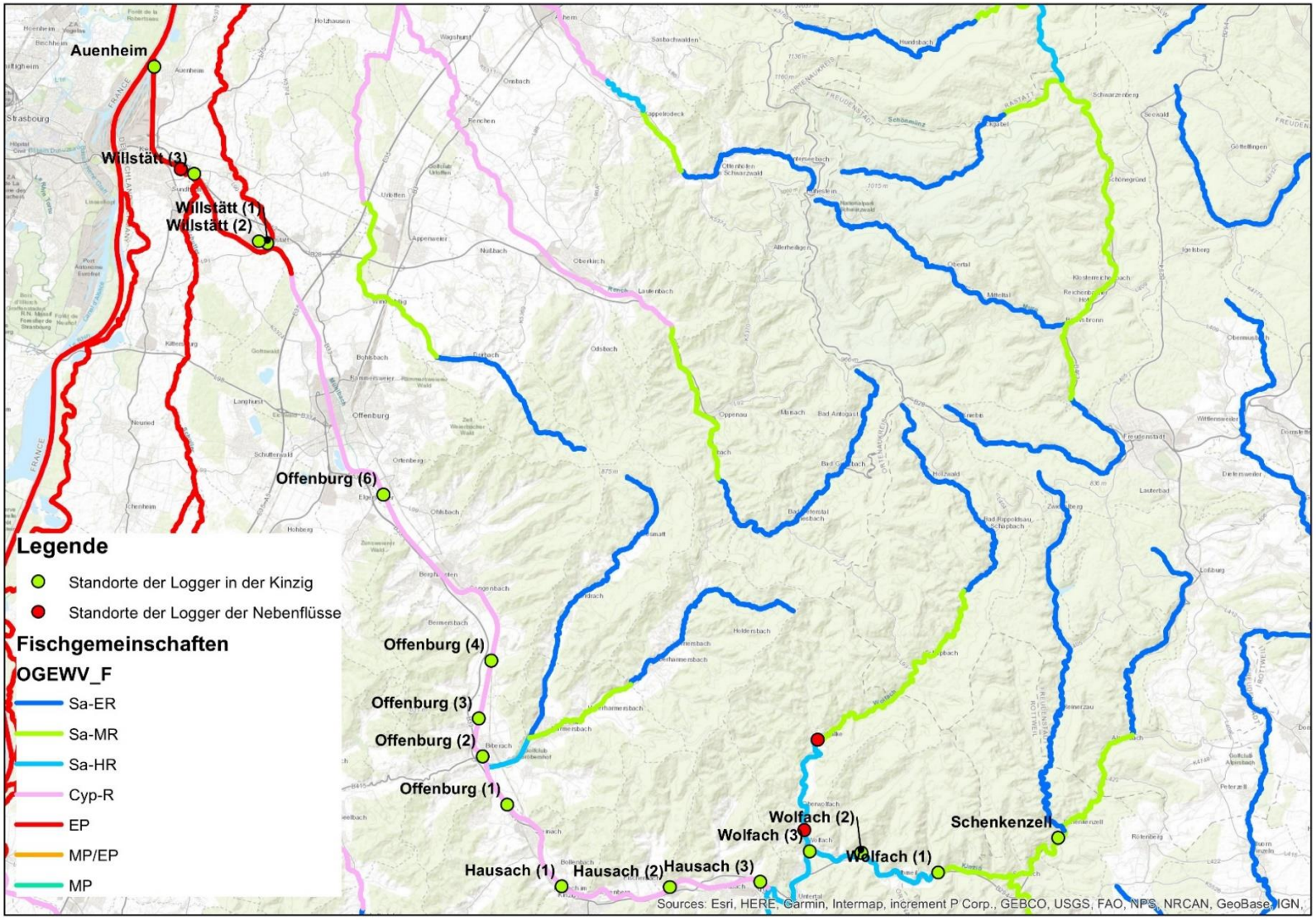
Anhang 1: Temperaturpräferenzen der Arten (Küttel et al. 2002, verändert)

	Temperatur-bereich	Gründling	Güster	Hasel	Hecht	Karpfen	Kaulbarsch	Nase	Rotauge	Schmerle	Schneider	Ukelei
Eier	Maximum	-	27	18		30	-	-	-	21	24	32
	Oberes Optimum		22	16		22				20	22	27
	Unteres Optimum		11	6		16				14	13	20
	Minimum		6	4		12				10	12	14
Juvenile	Maximum	37	31	-	33	36	28	28	30	34	27	29
	Oberes Optimum	27	27		26	33	27	23	26	24	22	24
	Unteres Optimum	8	11		7	15	9	14	8	6	9	16
	Minimum	3	5		3	7	2	7	6	0	7	6
Adulte	Maximum	37	31	-	34	36	28	28	30	34	27	29
	Oberes Optimum	27	27		26	33	27	23	26	28	22	24
	Unteres Optimum	8	11		9	15	9	14	8	5	9	16
	Minimum	3	5		9	7	2	7	6	0	7	6
Fortpflanzung	Maximum	17	-	14		30	-	-	-	20	24	24
	Oberes Optimum	17		14		22				20	21	
	Unteres Optimum	12		9		16				15	14	17
	Minimum	12		5		12				10	12	14

Anhang 2: Temperaturpräferenzen der Arten (Küttel et al. 2002, verändert)



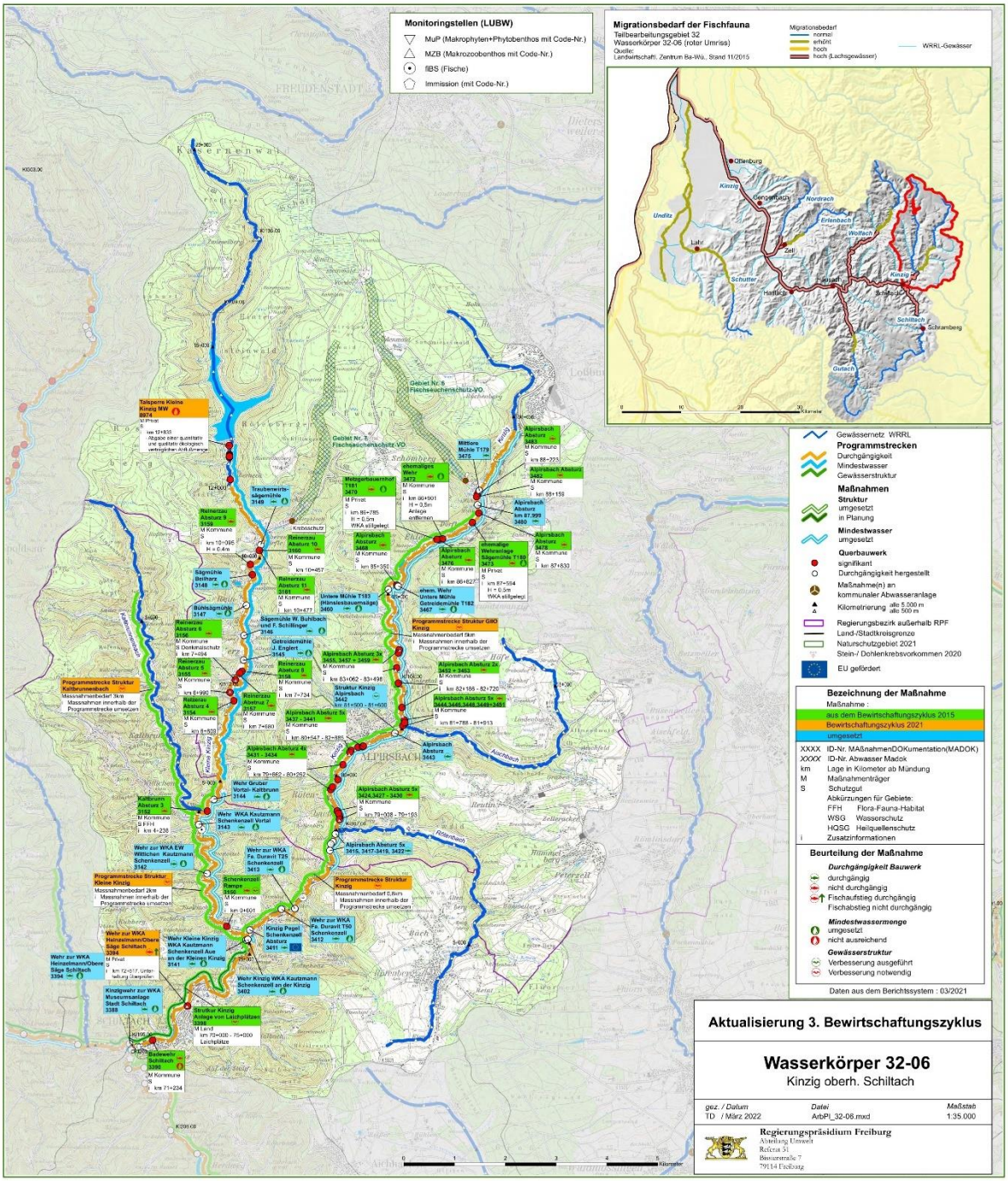
Anhang 3: Standorte der Logger an der Kinzig (grün) und Nebenflüsse (rot) (LUBW 2022)



Anhang 4: Fischgemeinschaften an der Kinzig und Nebenflüssen (LUBW 2022)

	Schenkenzell + Wolfach Nr.1	Wolfach Nr.2 + Nr.3	Hausach Nr.3 + Nr.2	Hausach Nr.1 + alle Offenburg	Willstätt + Auenheim
Gewässername	Kinzig	Kinzig	Kinzig	Kinzig	Kinzig
Gewässer_ID	3787	3674	11000	11058	10940
Gewässerkennzahl	2,33892E+12	2,342E+12	2,344E+12	2,3412E+12	2,346E+12
Referenz	32-01-OR3-H1-1	32-02-OR3-N1-1	32-03-OR3-H1-2	32-03-OR3-H1-1	32-05-OR3-H1-1
Wasserkörper	32-06 / 32-08	32-08	32-03	32-03	32-10
Gültiger Abschnitt	Von der Mündung Sulzbächle bis zur Mündung der Kleinen Kinzig	Unterhalb Mündung Sulzbächle	Oberhalb der Mühlbach-mündung	Unterhalb der Mühlbach-mündung	Unterhalb der Mündung des Offenburger Mühlbachs
Aal	0,4	0,8	2,4	4,2	6,5
Aland, Nerfling					
Äsche	8,0	10,9	7,4	5,3	0,2
Atlantischer Lachs	3,8	5,5	5,5	5,3	0,6
Bachforelle	17,9	10,9	4,5	3,0	0,4
Bachneunauge	1,9	2,0	2,0	1,6	0,2
Barbe	5,5	6,7	9,2	8,8	8,6
Barsch, Flussbarsch		0,3	1,0	2,4	8,6
Bitterling					0,5
Brachse, Blei				0,1	3,6
Döbel, Aitel	5,5	10,9	9,2	8,8	8,6
Dreistachliger Stichling (Binnenform)			0,2	0,9	3,3
Elritze	17,9	13,3	9,2	6,9	1,9
Flunder					
Flussneunauge			0,2	0,4	0,4
Frauennerfling					
Giebel				0,1	1,0
Groppe, Mühlkoppe	17,9	10,9	4,5	3,0	0,2
Gründling	0,8	3,0	9,2	8,8	6,5
Güster				0,1	1,3
Hasel	0,8	3,0	9,2	8,8	8,6
Hecht		0,3	0,8	1,6	2,3
Huchen					
Karausche					0,3
Karpfen			0,2	0,9	1,0
Kaulbarsch					1,9
Maifisch				0,1	0,1
Meerforelle		0,1	0,4	0,6	0,6
Meerneunauge			0,2	0,4	0,6
Nase	0,8	2,0	5,5	8,8	8,6
Quappe, Rutte	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
Rapfen					
Rotauge, Plötze		0,1	1,0	2,4	8,6
Rotfeder					0,3
Schlammpeitzger					0,2
Schleie					0,3
Schmerle	17,9	15,5	9,2	6,9	1,9
Schneider	0,1	3,0	7,4	6,9	1,9
Schrätzer					
Seeforelle					
Steinbeißer					1,0
Streber					
Strömer					
Ukelei, Laube			0,8	2,0	8,6
Wels					
Zährte					
Zander					
Zingel					
Zobel					

Anhang 5: Referenz-Fischzönose an der Kinzig im untersuchten Gewässerabschnitt (FFS 2022b)



Anhang 6: Bewirtschaftungsplan für das Teilbearbeitungsgebiet Kinzig. Kinzig oberhalb von Schiltach (Regierungspräsidium Freiburg 2021)