

Fischerei & Klimawandel

Messung von Restwassertemperaturen an sieben Kleinwasserkraftanlagen in Bayern



Auftraggeber: Landesfischereiverband Bayern e.V.
Mittenheimer Straße 4
85764 Oberschleißheim

Auftragnehmer: Dipl.-Biol. Benedikt Beck
Dr. Roland Meyer

Stand: Mai 2017

Bearbeitung:

Kartierungsbüro Benedikt Beck

Diplombiologe

Engschalkinger Straße 228

81927 München

Email: beckbenedikt@gmx.de

Tel.: 0179-1472360

Dr. Roland Meyer

Freiberuflicher Biologe

Hirtenstr. 45

82239 Alling

Email: rolandmeyer@hotmail.de

Tel.: 0163-8723138

Inhalt

1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	2
3	Untersuchungsstrecken	2
	3.1 Amper	3
	3.2 Eger	5
	3.3 Erlau	6
	3.4 Fränkische Rezat	8
	3.5 Fränkische Saale	9
	3.6 Haidenaab	10
	3.7 Halblech.....	12
4	Methodik	14
	4.1 Datenaufnahme	14
	4.2 Auswertung	14
5	Ergebnisse	15
	5.1 Amper.....	15
	5.2 Eger	18
	5.3 Erlau	21
	5.4 Fränkische Rezat	24
	5.5 Fränkische Saale	27
	5.6 Haidenaab	30
	5.7 Halblech.....	33
6	Zusammenfassende Betrachtung	35
7	Auswirkungen auf die Fischzönosen	36
	7.1 Amper.....	39
	7.2 Eger	39
	7.3 Erlau	40
	7.4 Fränkische Rezat	40
	7.5 Fränkische Saale	41
	7.6 Haidenaab	41
	7.7 Halblech.....	41
8	Anmerkungen und Vorschläge	42
	Literatur	43

1 Zusammenfassung

Zwischen August 2016 und Februar 2017 wurden in 7 Gewässern in Bayern im Bereich von Aufspaltungen in Ausleit- und Restwasserstrecken Temperaturmessungen vorgenommen. Ziel der Messungen war die Identifikation von Unterschieden im Temperaturregime der Restwasserstrecken im Vergleich zum Hauptgewässer. Zudem sollten die möglichen Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels auf die Fischfauna im Hinblick auf die aufgefundenen Unterschiede bewertet werden.

Die Messungen zeigten insgesamt kein einheitliches Bild. Vielmehr verhielten sich die einzelnen Gewässer je nach den gegebenen Rahmenbedingungen unterschiedlich. Drei Restwasserstrecken (Amper, Eger, Haidenaab) hatten im Vergleich zum Hauptgewässer eine relativ schnelle Strömungsgeschwindigkeit und geringe Wassertiefen sowie eine Beschattung über größere Strecken. Diese zeigten im Sommer eine mehr oder weniger ausgeprägte Abkühlung im Durchschnitt und eine größere Spannbreite zwischen den Minimal- und Maximalwerten im Tagesverlauf. Im Winter waren diese Unterschiede kaum noch sichtbar bzw. nicht vorhanden. An der Amper war zudem deutlich der Einfluß des Kühlwassers nach dem Zusammenfluß von Restwasser- und Ausleitstrecke nachweisbar. Alle betrachteten Temperaturparameter lagen dort über den gesamten Untersuchungszeitraum wesentlich höher im Vergleich zu den restlichen Probestellen.

Zwei Gewässer (Erlau, Halblech) wiesen ebenfalls schnell fließende, flach überströmte Restwasserstrecken auf, die jedoch weitgehend unbeschattet waren. Diese verhielten sich gegensätzlich und zeigten eine tendenzielle Erwärmung der Restwasserstrecke im Mittel im Sommer. Dies wurde vor allem durch höhere Maximaltemperaturen verursacht. Zudem wurde eine höhere Tagestemperaturamplitude in der Restwasserstrecke im Vergleich zur Ausleitstrecke beobachtet. An der Erlau traten im August zum Effekt der Kühlwassereinleitung an der Amper vergleichbare Temperaturschwankungen in der Restwasserstrecke auf. Im Winter gab es auch hier keine nennenswerten Temperaturunterschiede zur Ausleitstrecke.

Zwei weitere Restwasserstrecken (Fränkische Rezat und Fr. Saale) zeigten einen weitgehend stehenden Charakter im Vergleich zur langsam fließenden Ausleitstrecke. Im Sommer zeigte sich hier kein Effekt bzw. eine Tendenz zur Abkühlung je nach Meßstelle in der Restwasserstrecke. Im Winter waren beide Gewässer tendenziell wärmer als die Ausleitstrecke.

In Bezug auf mögliche Auswirkungen auf den Fischbestand spielen vor allem höhere Maximaltemperaturen und größere Tagestemperaturamplituden im Sommer eine Rolle. Hier überschreiten bereits die aktuell gemessenen Werte teilweise die Optimumsbereiche kaltstenothermer Arten wie den Salmoniden oder der Mühlkoppe. Mit weiterhin zunehmenden Temperaturen und auch geringeren Niedrigwasserabflüssen im Zuge des Klimawandels wird sich diese Problematik weiter verschärfen. Da die betroffenen Gewässer meist der Äschen- und Forellenregion angehören, eignen sie sich zudem von der Gewässermorphologie her weniger für Vertreter aus der Barben- und Brachsenregion. Möglicherweise kann bei einem

temperaturbedingten Rückgang der kalt-stenothermen Arten also kein adäquater Ausgleich durch temperaturtolerantere Arten bzw. eine Verschiebung der Fischregion stattfinden.

2 Einleitung

Ausleitkraftwerke verschiedener Ausbaugrößen haben durch die Umleitung eines erheblichen Teils des Abflusses in einen künstlich geschaffenen Kanal einen starken Einfluß auf den Wasserhaushalt des ursprünglichen Gewässers. Durch Kraftwerke, Stauanlagen oder Schwellen entstehen zudem unüberwindbare Wanderhindernisse, die durch entsprechend funktional geplante Wanderhilfen in Form von Fischauf- und Abstiegsanlagen oder Umgehungsgewässern zunächst wieder durchgängig gemacht werden müssen oder sollten. Abgesehen von den genannten Faktoren verändert sich über den Abfluß auch das Temperaturregime in der Restwasserstrecke, da Wasservolumen, -tiefe und die Fließgeschwindigkeit verändert werden. In einer Vorstudie des Landesfischereivereins Bayern e.V. zu Auswirkungen von Temperaturänderungen auf die Fischfauna wurden bereits an mehreren Restwasserrecken am Main, der Amper und der Traun Veränderungen des Temperaturregimes festgestellt. Die Restwasserstrecken erwärmten sich hierbei stärker im Mittel und wiesen auch größere Tagesamplituden auf.

In der vorliegenden Arbeit sollten die Auswirkungen von Ausleitkraftwerken auf den Temperaturhaushalt an sieben Restwasserstrecken in Bayern genauer betrachtet werden. Dabei liegt zum einen ein Augenmerk auf der Auswirkung der beobachtbaren Temperatureffekte auf die vorherrschende Fischfauna und zum anderen auf möglichen Effekten, die sich zusätzlich durch den fortschreitenden Klimawandel ergeben könnten.

3 Untersuchungsstrecken

Für die Temperaturmessung wurden sieben vorgegebene Restwasserstrecken untersucht. Es handelt sich hierbei um die Restwasserstrecken von Ausleitungskraftwerken, die bereits 2015 im Zuge des LFV-Projektes „Messung von Restwasserabflüssen an Kleinwasserkraftanlagen in Bayern“ hinsichtlich ihres Abflusses näher untersucht worden sind. Vorhandene Fischaufstiegsanlagen wurden in dem 2014 ausgeführten Projekt näher betrachtet und bewertet. Die Lage der Strecken ist in Tab. 1 zusammengefaßt.

Je Restwasserstrecke wurden fünf Datenlogger an repräsentativen Meßstellen eingebracht: Logger 1 (OWS) wurde vor der Ausleitung der Restwasserstrecke, Logger 2 (RWS1), Logger 3 (RWS2) und Logger 4 (RWS3) innerhalb der Restwasserstrecke und Logger 5 (UWS) nach dem Zusammenfluß von Restwasserstrecke mit dem ausgeleiteten Kanal platziert. Am Halblech, der Erlau und der Amper wurde versucht auch die Tiefenvarianz in der RWS durch die Logger abzubilden. Tabelle 2 gibt die im Feld mittels GPS aufgenommenen Koordinaten der Meßstellen an den einzelnen Fließstrecken wieder.

Tabelle 1: Übersicht über die untersuchten Restwasserstrecken

Gewässer	RW-Strecke	Reg.-Bez.	Landkreis	Nahort
Amper	Haag	Oberbayern	Freising	Zolling
Erlau	Erlautal	Niederbayern	Passau	Erlau
Haidenaab	Troschelhammer	Oberfranken	Neustadt a. d. Waldnaab	Dießfurt
Halblech	Küchelewehr	Schwaben	Ostalgäu	Prem
Eger	Hirschsprung	Oberfranken	Wunsiedel	Hirschsprung
Fr. Rezat	Fr. Rezat	Mittelfranken	Ansbach	Georgensgmünd
Fr. Saale	Herschfelder Mühle	Unterfranken	Rhön-Grabfeld	Bad Neustadt

Tabelle 2: Koordinaten der Ausgebrachten Temperaturlogger an den Restwasserstrecken. Im Halblech wurden aufgrund der Gewässermorphologie und der Länge der Restwasserstrecke nur 4 Datenlogger ausgebracht

Gewässer	Messstelle	x_GK4	Y_GK4	Gewässer	Messstelle	x_GK4	Y_GK4
Amper	OWS	4480408,317	5368764,061	Fränkische Saale	OWS	4374803,822	5579509,020
	RWS1	4488673,060	5368400,477		RWS1	4374595,798	5579368,715
	RWS2	4488999,460	5368386,371		RWS2	4374410,496	5579132,946
	RWS3	4488920,520	5368304,345		RWS3	4374190,933	5578969,665
	UWS	4490098,334	5369216,991		UWS	4374308,189	5578645,817
Eger	OWS	4509034,664	5554670,694	Haidenaab	OWS	4497015,537	5512107,756
	RWS1	4510562,610	5554366,258		RWS1	4497766,464	5512086,811
	RWS2	4510937,949	5554305,391		RWS2	4498254,851	5511059,805
	UWS	4511424,447	5553625,772		RWS3	4498286,459	5510713,437
	RWS3	4511452,504	5553984,669		UWS	4498411,151	5510616,638
Erlau	OWS	4616667,544	5383417,236	Halblech	OWS	4408953,211	5280344,462
	RWS1	4616473,787	5382519,390		RWS3	4408723,107	5280639,548
	RWS2	4616462,451	5382485,784		RWS2	4408836,723	5280539,789
	RWS3	4616442,945	5382289,701		RWS2	4408839,173	5280566,773
	UWS	4616652,879	5381873,873		RWS1	4408881,096	5280451,240
Fränkische Rezat	OWS	4427758,245	5449844,164				
	RWS1	4427846,256	5450055,795				
	RWS2	4427960,801	5450201,016				
	RWS3	4428147,309	5450301,352				
	UWS	4428279,379	5450415,986				

3.1 Amper



Abb. 1: Das Steinkohle Kraftwerk Zolling an der Amper mit Werkkanal (A), Ausleitungsbauwerk an der Amper mit Fischaufstiegsanlage und Umgehungsgerinne (B).

Die Ausleitung des Kraftwerkkanals der Amper befindet sich westlich von Zolling. Der Kraftwerkskanal ist stark verbaut und verläuft weitgehend unbeschattet parallel zur Restwasserstrecke in einiger Entfernung. Östlich von Zolling befindet sich das Steinkohlekraftwerk Zolling, das Kühlwasser aus der Amper entnimmt und rückführt. Bei Haag befindet sich zudem das Wasserkraftwerk Haag. Die Fließgeschwindigkeit ist geringer als in der Restwasserstrecke.

Der Abfluß in die Restwasserstrecke erfolgt über das Ausleitwehr, eine Fischaufstiegsanlage und ein Umgehungsgewässer. Letzteres ist im Gegensatz zur Aufstiegsanlage als durchgängig zu bezeichnen. Allerdings ist die Auffindbarkeit durch die Platzierung und die schwache Lockströmung eher schlecht.

Die knapp 12 km lange Restwasserstrecke ist an mehreren Stellen durch nicht durchgängige Querbauwerke unterbrochen. Ansonsten ist die Restwasserstrecke gut strukturiert. Es sind mehrere Altwässer an die zum Teil schnell fließende Restwasserstrecke angebunden. Die Strecke ist die meiste Zeit von Wald gesäumt und so im Tagesverlauf wechselnd beschattet.



Abbildung 1: Übersicht über die Meßstellen der Amper; Geodaten aus Openstreetmap

Oberhalb der Ausleitung für das Kraftwerk Zolling, im Bereich des Altwassers bei Palzing, wurde Logger 1 linksseitig eingebracht. In der anschließenden Restwasserstrecke wurden Logger 2 bis 4 bei Haag an der Amper installiert. Hierbei wurde versucht, die natürliche Tiefenvariabilität des Gewässers zu erfassen und die Logger in verschiedenen Tiefenbereichen

zu verankern. Im Zeitraum der Untersuchung verlandete allerdings Logger 3 und wurde am 04.09.2016 etwa 80 m stromabwärts in ein ca. 2 m tiefes, linksseitig liegendes Kehrwasser versetzt (N48° 27.190' E11° 50.990'). Logger 5 wurde nach dem Zusammenfluß von Restwasserstrecke und Kanal bei Inkofen nahe der Brücke über die Amper eingebracht.

3.2 Eger

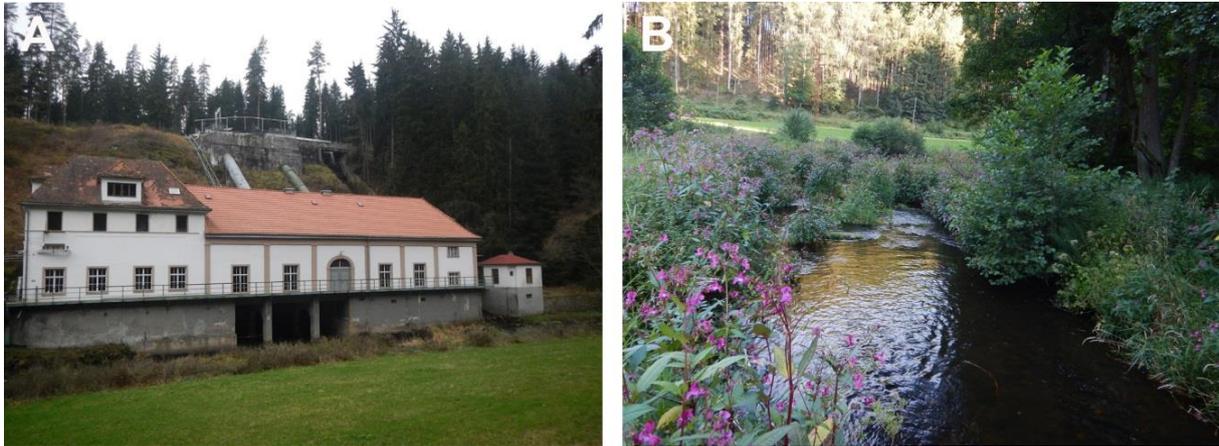


Abb. 2: Das Kraftwerk Hirschsprung (A) und die Restwasserstrecke im Bereich vor dem Zusammenfluss mit dem KW-Kanal.

Das Kraftwerk Hirschsprung befindet sich ca. fünf Kilometer südlich von Selb. Die Ausleitung des zuführenden Hirschsprungkanals erfolgt etwa 3 km flußauf des Kraftwerks. Der Kanal fließt nach der Ausleitung entlang des Talhanges im Wald und baut eine zunehmende Höhendifferenz zum eigentlichen Flußverlauf auf. Die Fließgeschwindigkeit ist deutlich geringer als in der Restwasserstrecke. In Folge speist er ein Speicherbecken, in dem das Wasser gesammelt und über Leitungen dem Kraftwerk zugeführt wird. Die Restwasserdotations erfolgt über ein Ausleitungswehr. Eine trockengefallene Fischaufstiegsanlage ist vorhanden, aber augenscheinlich seit geraumer Zeit außer Betrieb. Im Gegensatz zur restlichen Restwasserstrecke ist hier also keine Durchgängigkeit gegeben. Die überwiegend schnell fließende Restwasserstrecke ist reich strukturiert und fast auf großen Teilen der Strecke mehr oder weniger vollständig im Tagesgang beschattet. Das relativ tief eingeschnittene Tal trägt zudem zur Beschattung bei.

Wie in allen Restwasserstrecken, wurden auch in der ca. 3,2 km langen Strecke des Kraftwerks Hirschsprung 5 Datenlogger verteilt: Logger 1 wurde oberhalb der Ausleitung bei Leupoldshammer eingebracht, Logger 2 nahe dem ca. 2 km stromabwärts gelegenen Wellerthal, Logger 3 und 4 im unteren Bereich der Restwasserstrecke. Durch die weite Streuung der Logger wurde eine gute Abdeckung der Fließstrecke erreicht.

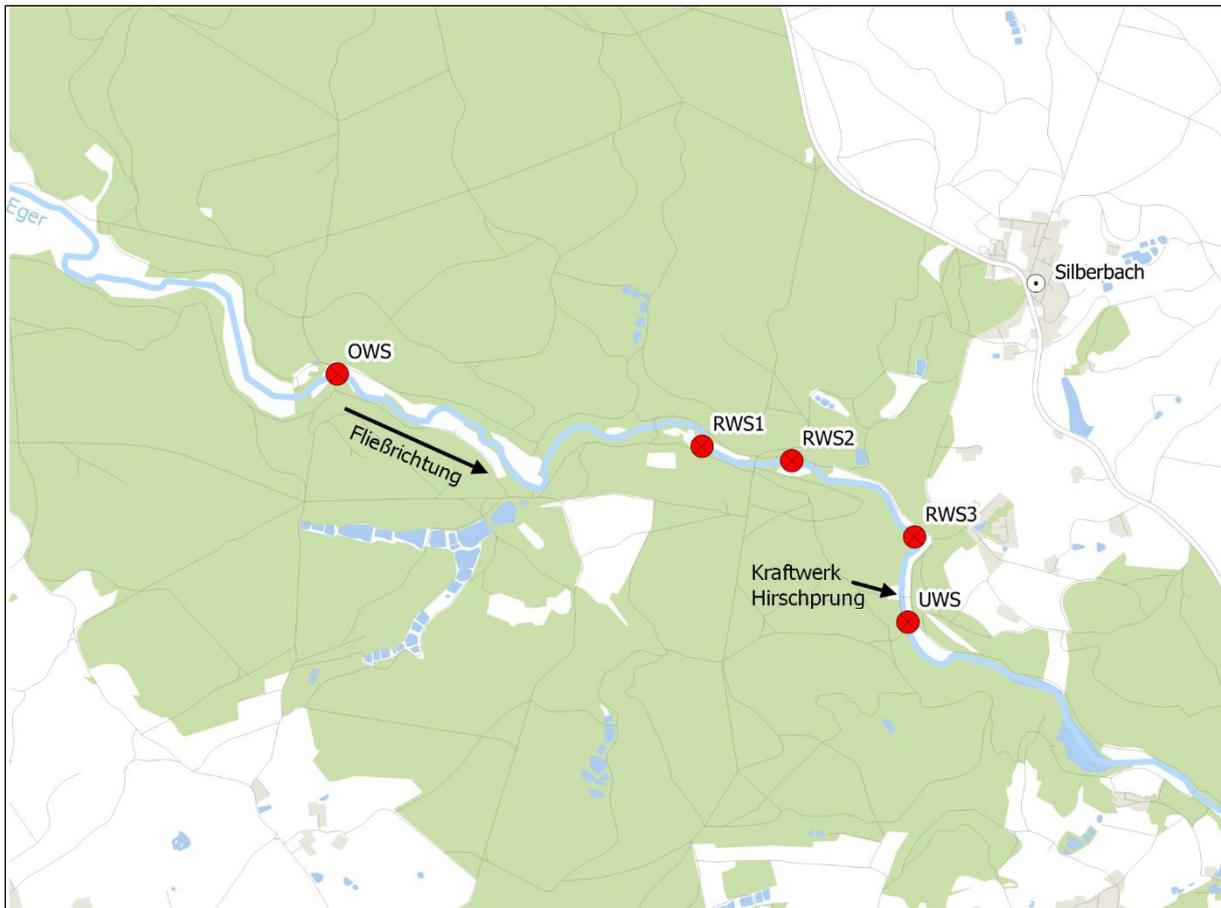


Abbildung 2: Übersicht der Meßstellen in der Eger; Geodaten aus Openstreetmap

3.3 Erlau

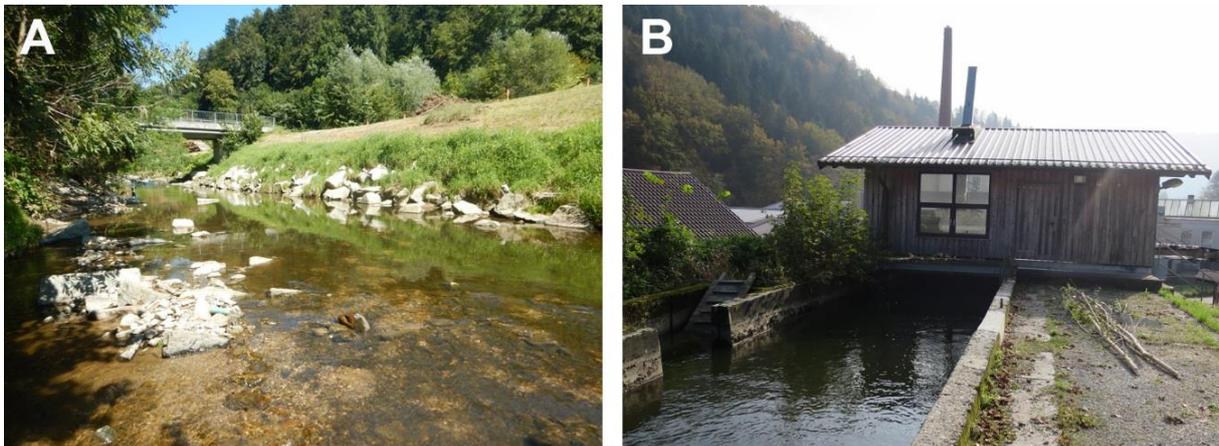


Abb. 3: Die Restwasserstrecke der Erlau im Bereich des Loggers 3 (A) und das Kraftwerk „Kittelmühle“ mit Werkskanal (B)

Das Kraftwerk „Kittlmühle“ liegt ca. 8 Kilometer östlich von Passau. Die Restwasserdotierung erfolgt ausschließlich über die Fischaufstiegsanlage die als Umgehungsgerinne ausgeführt worden ist. Die Wehranlage wurde im September 2014 fertiggestellt, die vorhandene Fischaufstiegsanlage (FAA) wurde aus dem alten Baubestand übernommen. Die FAA kann wegen der größeren Höhensprünge im Mündungsbereich als nur beschränkt durchgängig

bezeichnet werden (siehe Restwasserbericht). Der ca. 1,8 km lange, für die Temperaturmessung zu untersuchende Abschnitt mündet in die Donau und zeichnet sich durch eine erhöhte Fließgeschwindigkeit aus. Pessimale Stellen und Unterbrechungen durch z.B. Abbrüche sind nicht vorhanden; die Strecke an sich kann für Fische als durchgängig bezeichnet werden.

Die Datenlogger wurden Anfang August in die Erlau ausgebracht (Tab.3). Logger 1 wurde oberhalb der Wehranlage und damit vor der Ausleitung des Werkskanals rechtsseitig platziert. Logger 2 bis 4 wurden innerhalb der Restwasserstrecke eingebracht. Diese Logger wurden an verschiedenen Bereichen der Erlau (flachste, schmalste und tiefste Stelle) verankert. Logger 5 wurde ca. 220 m oberhalb der Mündung in die Donau eingebracht und nahm die Temperatur der Erlau nach dem Zusammenfluß von Werkskanal und Restwasserstrecke auf. Im Januar konnte aufgrund der Vereisung des Gewässers kein Auslesen der Daten erfolgen. Aufgrund eines Hochwasserereignisses Ende Februar gingen 2 Datenlogger (Logger 2 und 4) verloren. Eine Fotodokumentation der Meßstellen und Restwasserstrecke findet sich im Anhang.



Abbildung 3: Übersicht über die Meßstellen in der Erlau; Geodaten aus Openstreetmap

3.4 Fränkische Rezat



Abb. 4: Die langsam fließende Restwasserstrecke (A) und die Lademühle an der Fränkischen Rezat bei Georgensgmünd (B).

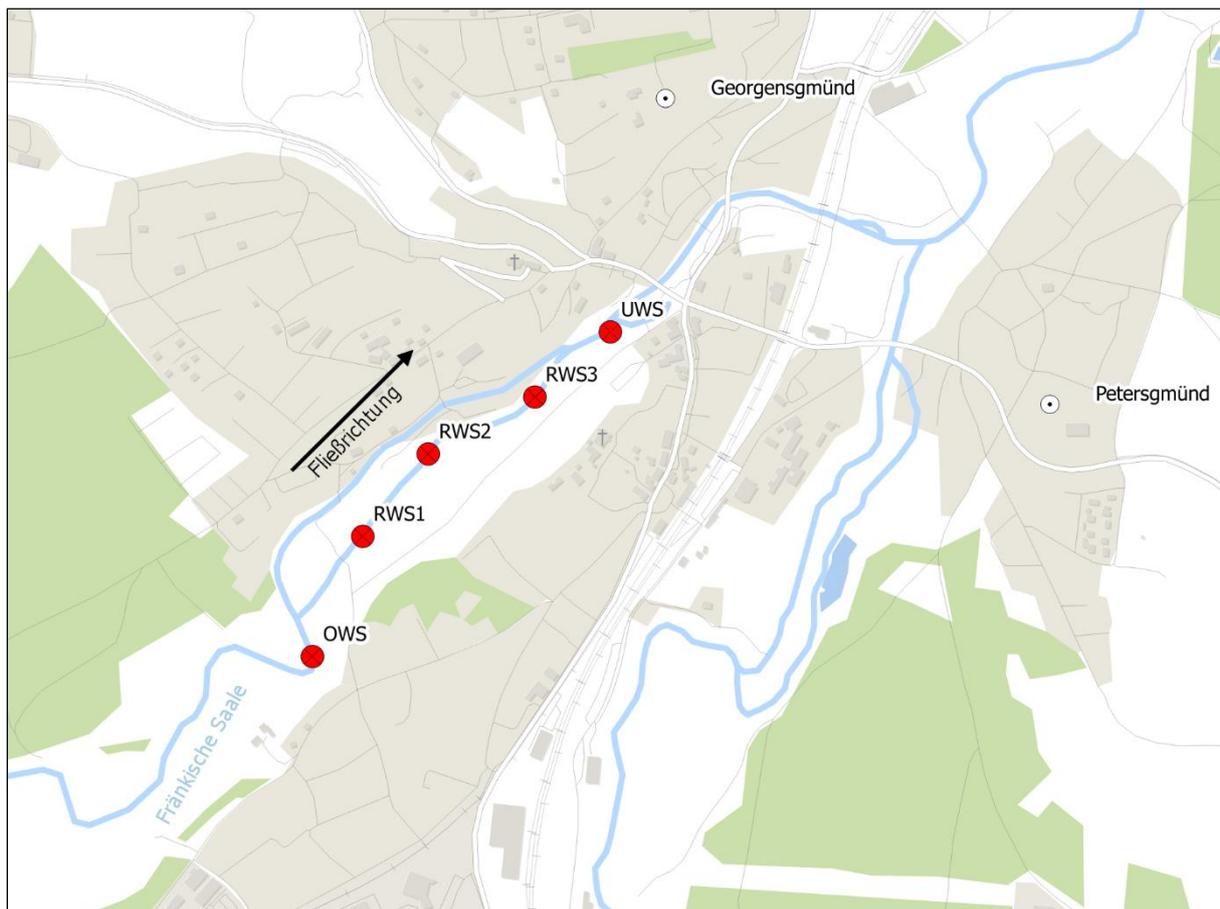


Abbildung 4: Übersicht der Meßstellen an der Fränkischen Rezat; Geodaten aus Openstreetmap

Die Lademühle liegt in Georgensgmünd an der Fränkischen Rezat. Der Kraftwerkskanal verläuft parallel zur Restwasserstrecke und weist eine langsame Fließgeschwindigkeit auf. Das Ausleitungswehr ist als Streichwehr ausgeführt. Es besteht zudem eine, durch ein weiteres Wehr regelbare Verbindung zwischen dem Mühlkanal und der Restwasserstrecke.

Die Fließgeschwindigkeit in der nur ca. 800 m lange Restwasserstrecke ist sehr gering, wodurch die Strecke einen weitgehend stehenden Charakter hat. Flach überströmte Bereiche existieren nicht. Weite Bereiche der Strecke wie auch des Kraftwerkskanals werden durch hohe Ufervegetation stark beschattet.

Zur Ermittlung der Temperaturen wurden fünf Datenlogger ausgebracht: Logger 1 vor der Ausleitungsanlage, Logger 2 bis 4 innerhalb der Restwasserstrecke und Logger 5 nach Zusammenfluß von Restwasserstrecke mit dem Mühlkanal.

3.5 Fränkische Saale



Abb. 5: Die langsam fließende Restwasserstrecke im Bereich von Logger 3 (A) und das Kraftwerk Herschfelder Mühle (B).

Die ca. 1,8 km lange Restwasserstrecke an der Herschfelder Mühle liegt nördlich von Herschfeld bei Bad Neustadt. Sie wird durch ein Umgehungsgerinne und teilweise durch einen Wehrüberlauf gespeist. Eine Sohlrampe kurz nach dem Wehr schränkt die Durchgängigkeit der Restwasserstrecke für schwimmschwache Arten ein. Die Fließgeschwindigkeiten der weitestgehend tiefen Restwasserstrecke sind sehr niedrig, es herrscht eine dichte Ufervegetation vor; weite Bereiche sind dadurch beschattet. Der Mühlkanal weist ebenfalls nur eine geringe Strömungsgeschwindigkeit auf und ist vergleichbar der Reststrecke meist durch Ufergehölze gesäumt.

Circa 150 m oberhalb der Ausleitungsanlage wurde Logger 1 installiert. Logger 2 bis 4 wurden gleichmäßig über die Restwasserstrecke verteilt, da die Gewässermorphologie sich über die Strecke wenig verändert. Flache oder pessimale Stellen sind somit nicht vorhanden. Logger 5 wurde ca. 200 m nach Zusammenfluss von Restwasserstrecke und Mühlkanal platziert.

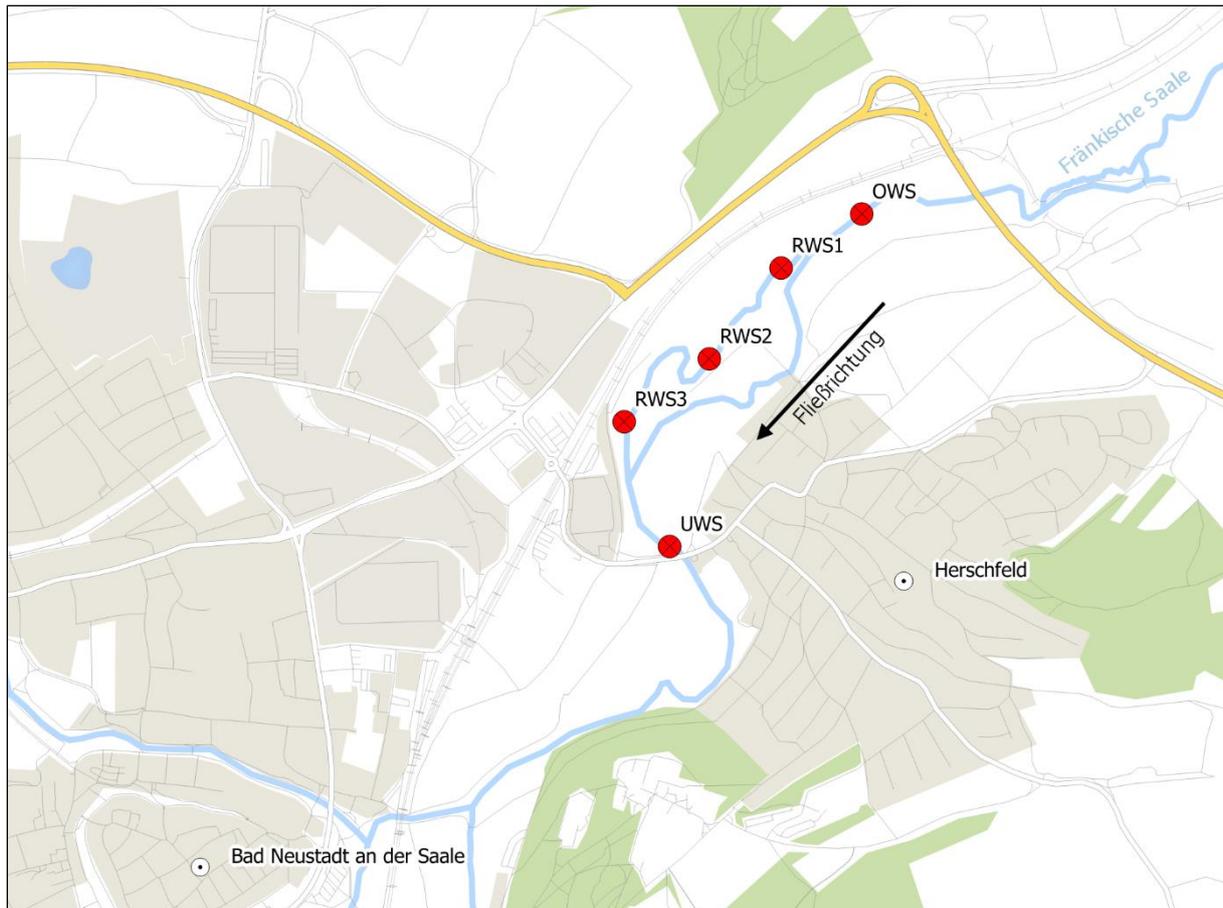


Abbildung 5: Übersicht der Meßstellen an der Fränkischen Saale; Geodaten aus Openstreetmap

3.6 Haidenaab



Abb. 6: Die Haidenaab bei der Meßstelle UWS nahe Dießfurt (A) und das Ausleitungwehr (B).

Die Restwasserstrecke des Kraftwerks Troschelhammer erstreckt sich von der Ausleitung in den Kraftwerkskanal nordwestlich von Troschelhammer bis nordöstlich von Dießfurt. Die Dotation erfolgte durch Wehrüberlauf und ein Umgehungsgerinne. Letzteres ist seit längerer Zeit verlegt und besitzt nur einen minimalen Abfluß. Eine Durchgängigkeit ist hier also im Gegensatz zur Restwasserstrecke nicht gegeben. Im Verlauf münden weitere Zuflüsse aus den umgebenden Feuchtflächen. Die ca. 3,2 km lange untersuchte Strecke ist reich strukturiert:

Schnell fließende und ruhige Bereiche sind vorhanden. Die Bachsohle wird aus sandigen bzw. kiesigen Sedimenten aufgebaut, es finden sich unterspülte Uferbereiche und Totholzstrukturen und teilweise auch Biberdämme in der Strecke.

Logger 1 wurde oberhalb der Ausleitung des Werkskanals bei Troschelhammer eingebracht. Die Fließgeschwindigkeit in diesem Bereich ist eher gering. Logger 2 kam ca. 800 m stromabwärts in einem mäßig fließenden Bereich der Restwasserstrecke zum Einsatz, Logger 3 nahe der Köstler Brücke ca. 1,5 km stromabwärts. Logger 4 wurde nahe der Ortschaft Dießfurt in die Restwasserstrecke eingebracht und Logger 5 nach dem Zusammenfluß von Restwasserstrecke mit dem Kanal. Durch die weite geographische Streuung der Logger innerhalb der langen Restwasserstrecke, konnte eine gute Abdeckung erreicht werden.



Abbildung 6: Übersicht über die Meßstellen in der Haidenaab; Geodaten aus Openstreetmap

3.7 Halblech

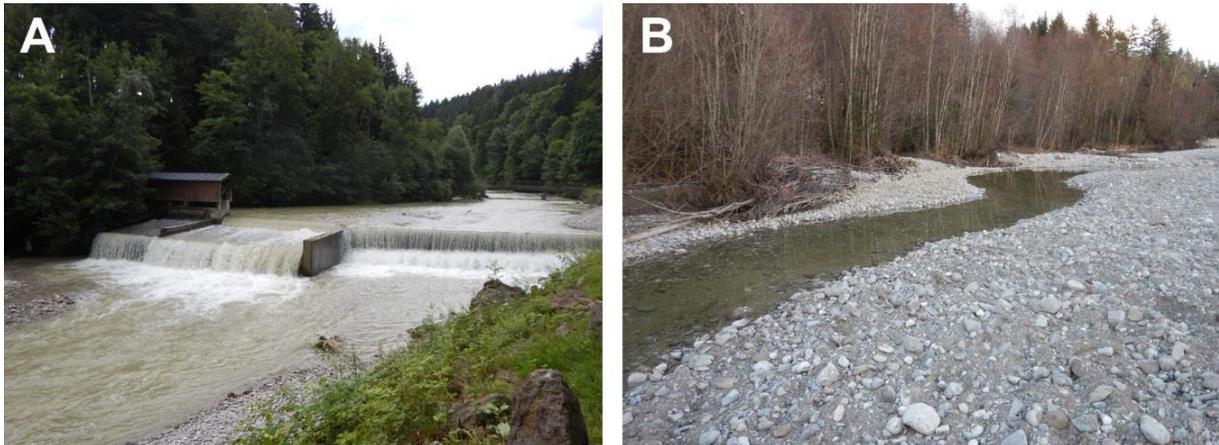


Abb. 7: Das Küchelewehr am Halblech bei erhöhtem Abfluss (A) und die sich anschließende Restwasserstrecke bei niedrigen Abfluss (B).

Das Küchelewehr dient als Ausleitungswehr für den Premer Mühlbach der wiederum mehrere Sägewerke versorgt. Die Restwasserdotation erfolgt über eine als Umgehungsgerinne ausgeführte Fischaufstiegsanlage und abhängig vom Abfluß über das Wehr selbst. Die nur knapp 500 m lange Restwasserstrecke mündet im Premer Lechsee. Bei Niedrigwasser ist nur ein geringer Teil des Gewässerbetts der Restwasserstrecke benetzt. Das Restgewässer verläuft hier völlig unbeschattet durch den Kieskörper.

Da der Halblech direkt in den Lech-Stausee fließt und so kein Zusammenfluß der Restwasserstrecke mit dem Halblech stattfindet, wurde kein Logger im Unterwasser der Strecke ausgebracht. Logger 1 wurde also oberhalb des Wehres und Logger 2 bis 4 innerhalb der Restwasserstrecke positioniert.

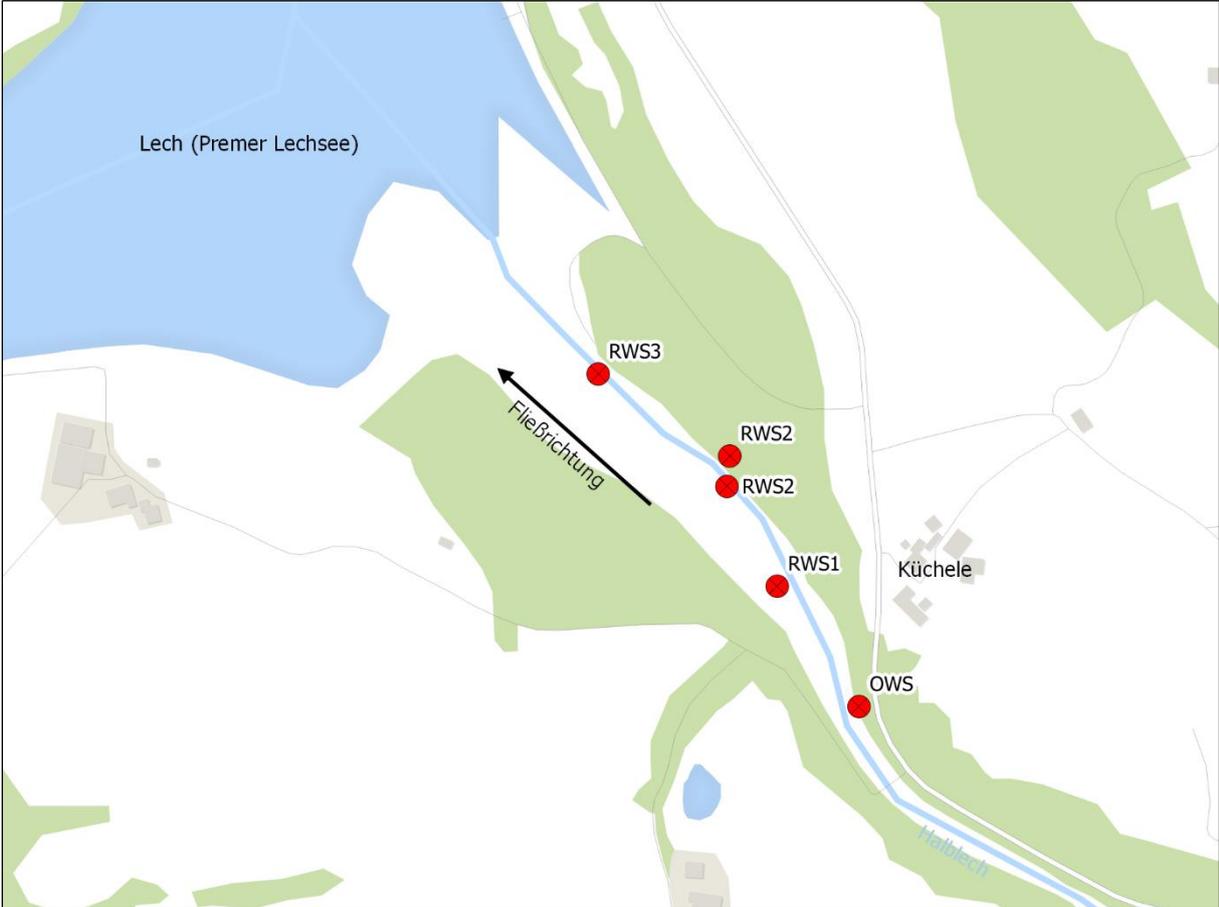


Abbildung 7: Übersicht der Meßstellen im Halblech; Geodaten aus Openstreetmap

4 Methodik

4.1 Datenaufnahme

Die Temperaturwerte in den jeweiligen Restwasserstrecken wurden mit Datenlogger der Firma HOBO im Zeitraum August 2016 bis Februar 2017 aufgenommen. Das Speicherintervall der Logger wurde auf eine Stunde festgelegt. Die aufgenommenen Werte wurden monatlich (Tab. 1) mittels eines mobilen Auslesegerätes (HOBO Waterproof Shuttle) über eine Infrarotschnittstelle ausgelesen. Diese Technik erlaubt eine kontinuierliche Datenerfassung, da die Logger nicht aus der Messumgebung entfernt werden mussten. Die Daten wurden mit der zugehörigen HOBOWare™-Software und MS Excel ausgewertet. Der Arbeitsbereich der verwendeten Datenlogger liegt laut Hersteller zwischen -20°C und +50°C in Wasser mit einer Genauigkeit von $\pm 0,53^\circ\text{C}$ bei +50°C.

Tabelle 3: Übersicht über den Aufnahmezeitraum der Daten sowie Ausbringung und Auslesedatum der einzelnen Monate. Im Januar wurden aufgrund der Vereisung der Probestellen nur die Amper und Erlau angefahren

Gewässer	Datum Ausgebracht	August September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar
Amper	08.08.16	04.09.16	21.10.16	26.11.16	19.12.16	25.01.17	21.02.17
Erlau	08.08.16	04.09.16	21.10.16	26.11.16	19.12.16	25.01.17	21.02.17
Haidenaab	16.08.16	08.09.16	27.10.16	20.11.16	21.12.16	-	01.03.17
Halblech	01.08.16	30.08.16	26.10.16	18.11.16	27.12.16	-	06.02.17
Eger	16.08.16	08.09.16	27.10.16	20.11.16	21.12.16	-	01.03.17
Fr. Rezat	17.08.16	08.09.16	28.10.16	19.11.16	21.12.16	-	01.03.17
Fr. Saale	17.08.16	08.09.16	28.10.16	19.11.16	21.12.16	-	01.03.17

Um eine Verdriftung der Logger zu verhindern, wurden diese beschwert und bei der Ausbringung an den verschiedenen Meßstellen der jeweiligen Restwasserstrecke mit einer stabilen Schnur an geeigneten Strukturen in der Böschung (Bäume, Wurzeln etc.) befestigt. Somit konnten die Logger in den festgelegten Messorten der jeweiligen Restwasserstrecke sicher platziert werden. Es zeigte sich allerdings während dem Untersuchungszeitraums, daß einige Logger aufgrund der ufernahen Platzierung durch Hochwasser bzw. Niedrigwasser zeitweise trockenfielen oder während der extremen Kälteperiode im Januar einfroren.

4.2 Auswertung

Zur Auswertung wurden 4 Parameter herangezogen:

- Monatsmitteltemperaturen: Mittelwert aller Stundenmeßwerte im gesamten Monat
- Monatsmaximalwerte: maximal im jeweiligen Monat erreichte Temperatur
- Monatsminimalwerte: minimal im jeweiligen Monat erreichte Temperatur
- Mittlere Tagestemperaturamplitude: Mittelwert der Differenz zwischen der minimalen und maximalen Tagestemperatur im jeweiligen Monat

Falls Daten offensichtlich fehlerhaft waren, z.B. durch Trockenfallen oder Einfrieren einzelner Logger, wurden die Daten nicht für die Auswertung berücksichtigt. War dies für einen längeren Zeitraum der Fall, wurde der gesamte betroffene Monat ausgeschlossen.

5 Ergebnisse

5.1 Amper

Für die Bewertung wurden die Daten des Loggers RWS1 im Zeitraum vom 23.08.2016 bis 04.09.2016 ausgeschlossen, da der Logger trockengefallen war. Dasselbe gilt für den Logger RWS2 im Zeitraum vom 23.08.2016 bis 16.09.2016. Die Werte des Monate September werden deswegen nicht in der Grafik angezeigt. Der Logger an der Stelle RWS3 maß bis zum 25.11.2016 im 12h- Intervall, weswegen für diesen Zeitraum nur 2 Meßwerte pro Tag vorliegen.

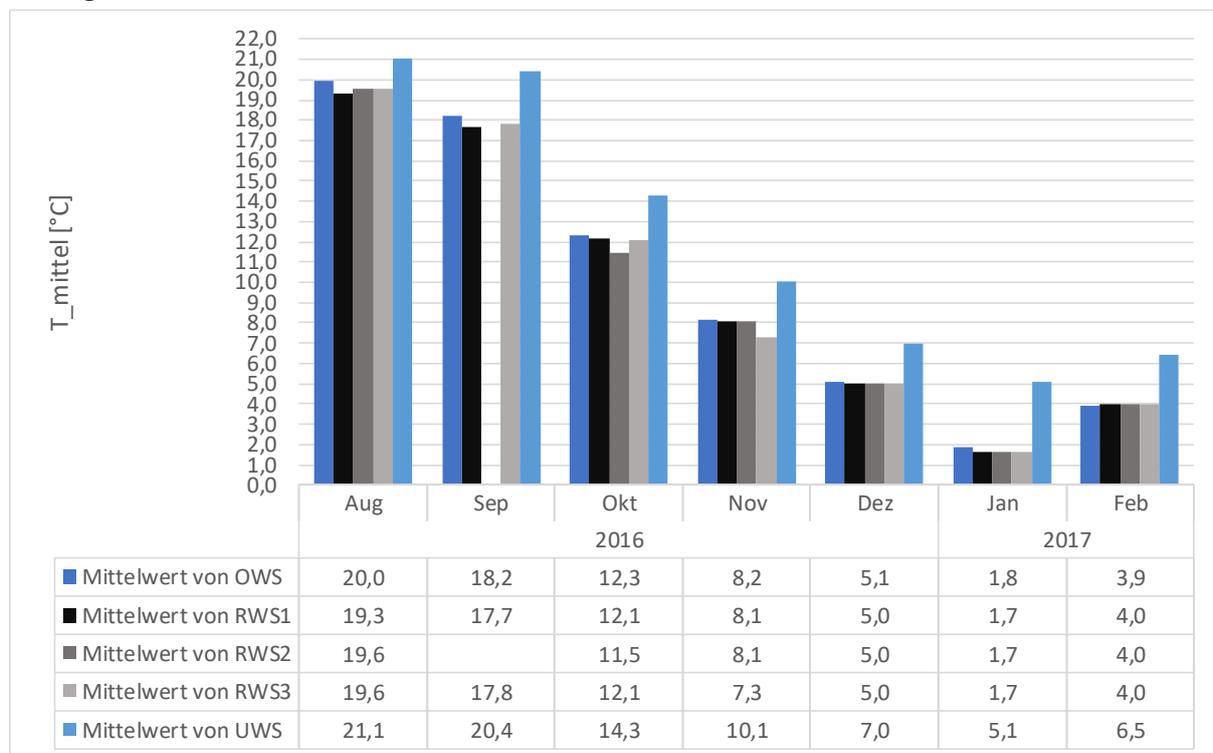


Abbildung 8: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Amper von August 2016 bis Februar 2017

Bei der Betrachtung der Temperaturwerte wird deutlich, daß der Effekt des Kühlwassers des Kraftwerks Zolling wesentlich größer ist, als Temperaturunterschiede zwischen den restlichen Meßstellen. Im Sommer liegt der Unterschied im Monatsmittel nur etwa bei +1°C. Mit zunehmender Abkühlung im Jahresverlauf wirkt sich die Erwärmung aber deutlicher aus, bis zu einem Maximum von + 3,3 bis 3,4 °C im Januar.

Im August und September sind zudem die Meßstellen in der RWS zwischen 0,4 bis 0,7 °C bzw. 0,4 bis 0,5 °C kälter im Vergleich zur Amper vor der Ausleitung. Ab Dezember weisen alle

Meßstellen außer der UWS-Stelle nahezu identische Temperaturen auf, wobei Abweichungen von maximal 0,1 °C zwischen der OWS und den RWS-Meßstellen auftreten.

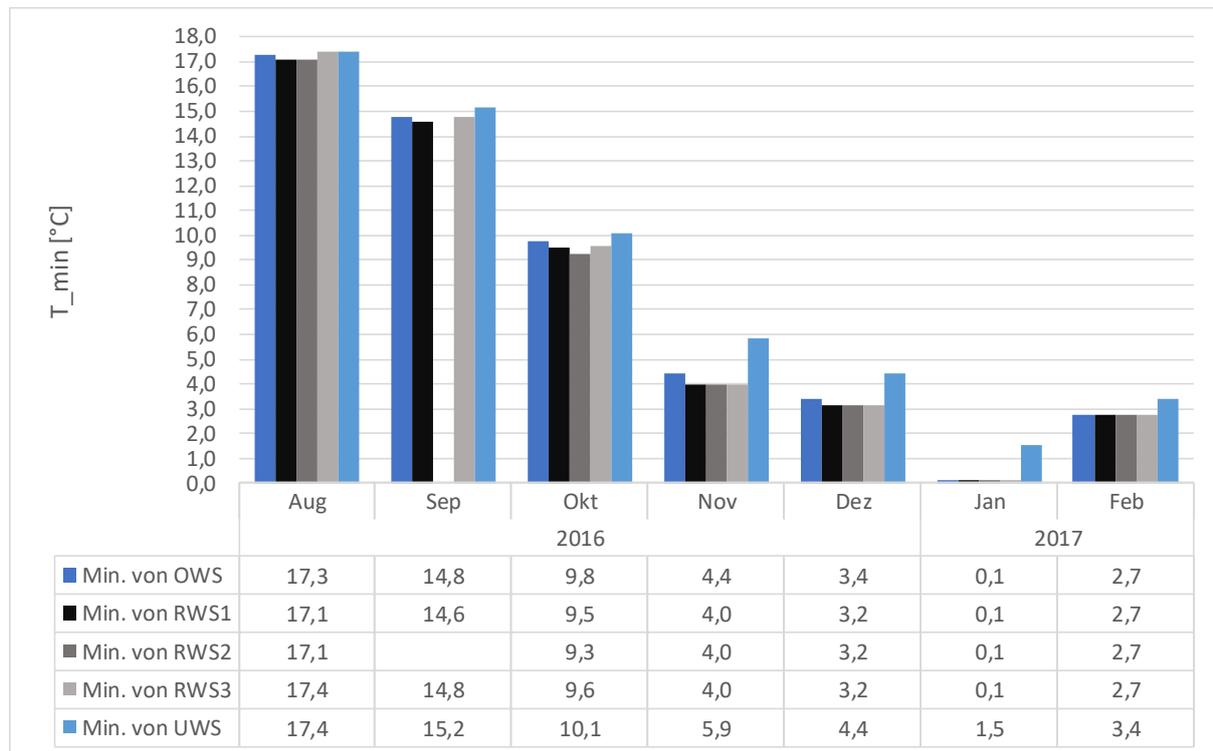


Abbildung 9: Minimaltemperaturen der Meßstellen in der Amper von August 2016 bis Februar 2017

Bezüglich der Minimaltemperaturen sind die Unterschiede der Meßstellen geringer im Vergleich zu den Monatsmittel- und Maximaltemperaturen. Bis Dezember werden in der Restwasserstrecke durchweg um 0,2 bis maximal 0,5 °C geringere Minimalwerte als an der Probestelle OWS gemessen. Bei der Betrachtung der Meßstellen OWS und UWS sind die Minimalwerte im Unterwasser um 0,1 bis 1,5 °C erhöht. Die Unterschiede sind ab November am deutlichsten.

Die Maximaltemperaturen pro Monat an den einzelnen Probestellen zeigen keine eindeutige Tendenz zu wärmeren oder kälteren Verhältnissen in der Restwasserstrecke. Im August werden an zwei der Restwassermeßstellen um 0,6 bis 0,8 °C höhere Maximaltemperaturen im Vergleich zum Oberwasser festgestellt. An der Probestelle RWS3 wurden hingegen niedrige Maximaltemperaturen gemessen. Hierfür ist wahrscheinlich das 12h-Meßintervall des Loggers verantwortlich. Bis November liegen die Temperaturen in der Restwasserstrecke um 0,2 bis 1,1 °C unter den Meßwerten im Oberwasser. Ab November sind die Maximaltemperaturen abgesehen vom Unterwasser an allen Meßstellen vergleichbar mit Abweichungen von 0,2 bis 0,3 °C.

Der Effekt des Kühlwassers im Unterwasser ist bei den Maximaltemperaturen am deutlichsten zu sehen. An der Meßstelle UWS wurden zwischen 2,3 bis 4,6 °C höhere Temperaturen im Vergleich zur Meßstelle OWS gemessen.

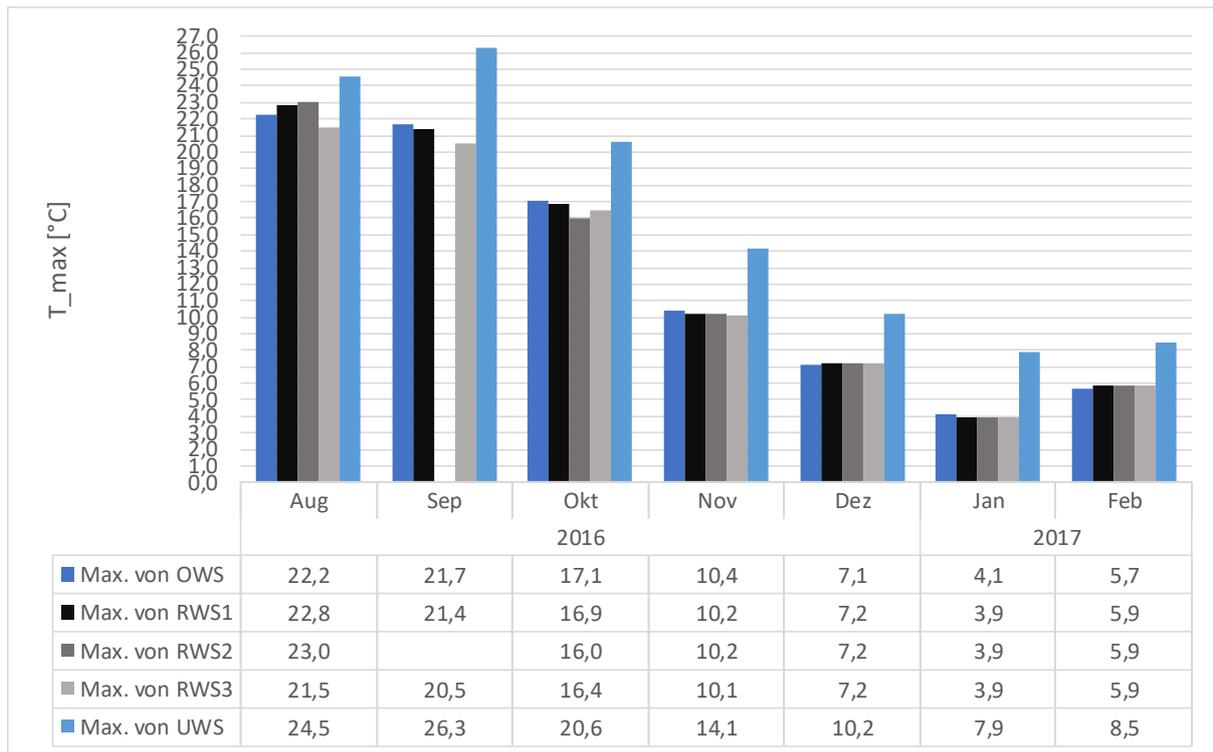


Abbildung 10: Maximaltemperaturen der Meßstellen in der Amper von August 2016 bis Februar 2017

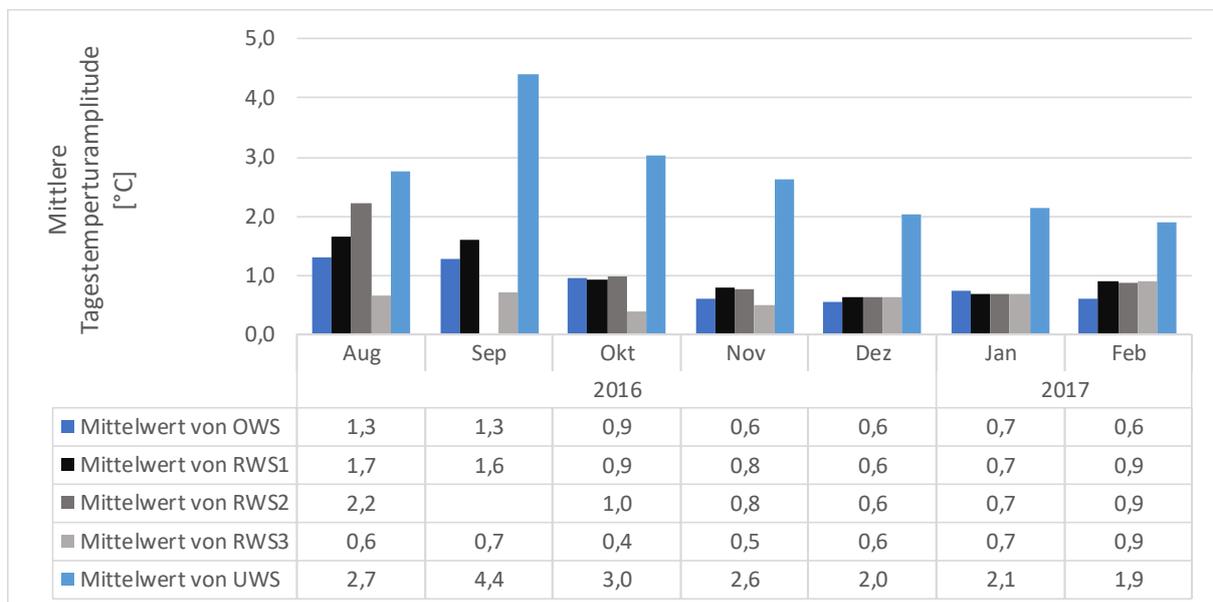


Abbildung 11: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Amper von August 2016 bis Februar 2017

Die Tagestemperaturamplitude ist im August und September in der Restwasserstrecke um 0,3 bis 0,9 °C höher als im Oberwasser. Die geringe Schwankungsbreite an der Meßstelle RWS3 wird wahrscheinlich durch das 12h-Intervall verursacht und kann so von der Betrachtung ausgeschlossen werden. Ab Oktober gleichen sich die Schwankungsbreiten in der Restwasserstrecke und Oberwasser an. Die im Unterwasser durch das Kühlwasser verursachte Temperaturamplitude übertrifft die Unterschiede an den restlichen Standorten um ein

Vielfaches. Im September liegt das Maximum mit einer mittleren Temperaturdifferenz pro Tag von 4,4 °C vor.

5.2 Eger

Für die Auswertung wurden die Daten der Probestelle RWS2 im Dezember, sowie der Probestelle RWS3 für den gesamten Februar nicht berücksichtigt, da die Logger jeweils trockengefallen waren.

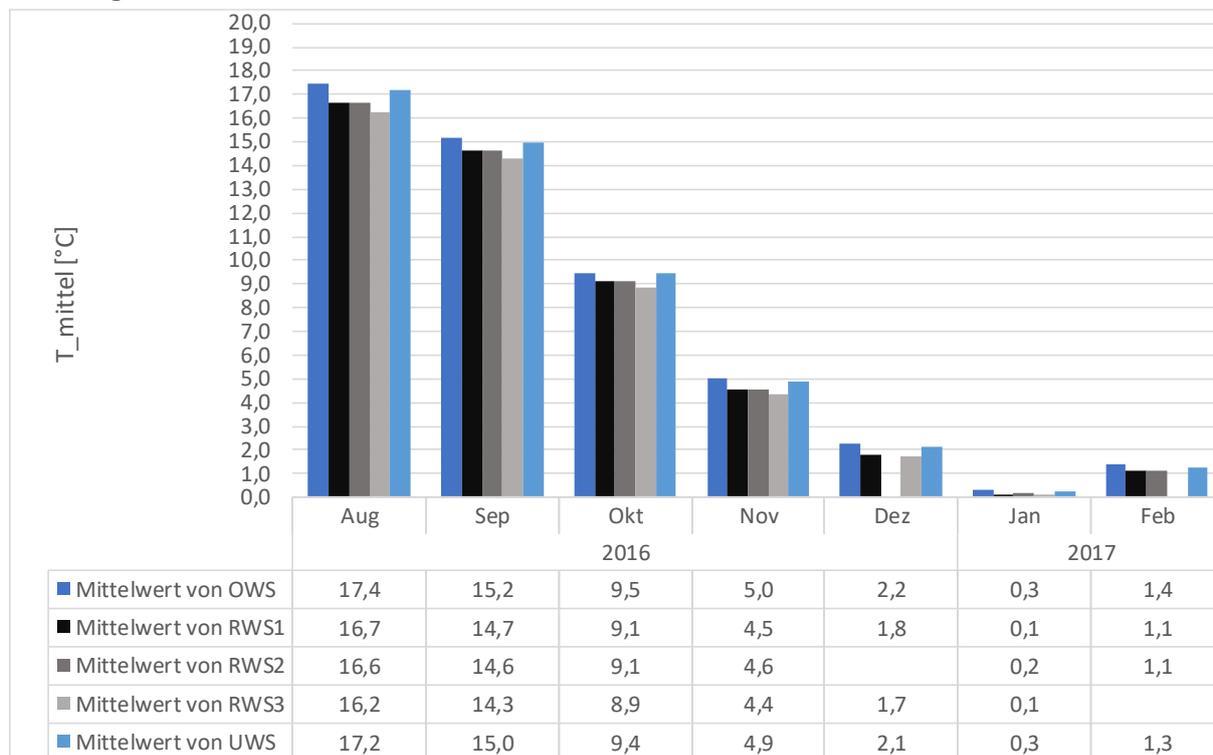


Abbildung 12: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Eger von August 2016 bis Februar 2017

Bei der Betrachtung der Monatsmitteltemperaturen zeigt sich, daß an den Meßstellen in der Restwasserstrecke durchweg geringere Temperaturen gemessen wurden als im Ober- und im Unterwasser. Die Unterschiede liegen dabei zwischen maximal 0,2 °C im Januar und 1,2 °C im August.

Die Minimaltemperaturen bestätigen die stärkere Abkühlung der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ober- und Unterwasser. Vor allem im August und September wurden größere Unterschiede zwischen 3,3 bzw. 1,9 °C gemessen.

Im Gegensatz zu den Minimal- und Durchschnittstemperaturen wurden abgesehen von der Meßstelle RWS3 vor allem zwischen August und Oktober höhere Maximaltemperaturen in der Restwasserstrecke festgestellt. Der Unterschied liegt dabei zwischen 0,3 und 1,0 °C im Vergleich zum Oberwasser. Ab November ergibt sich kein einheitliches Bild mehr. Im Januar waren die Logger der Restwassermeßstellen durchweg eingefroren, während die Logger im Ober- und Unterwasser zumindest zeitweise eisfrei waren.

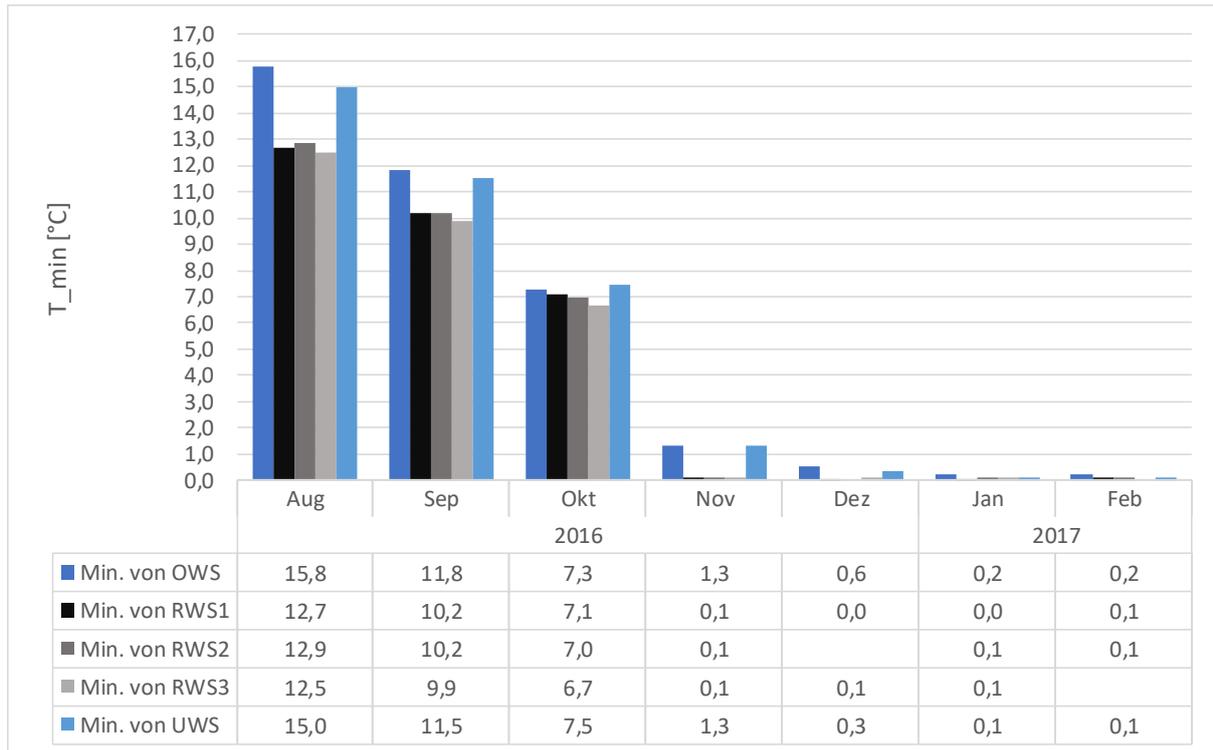


Abbildung 13: Minimaltemperaturen der Meßstellen in der Eger von August 2016 bis Februar 2017

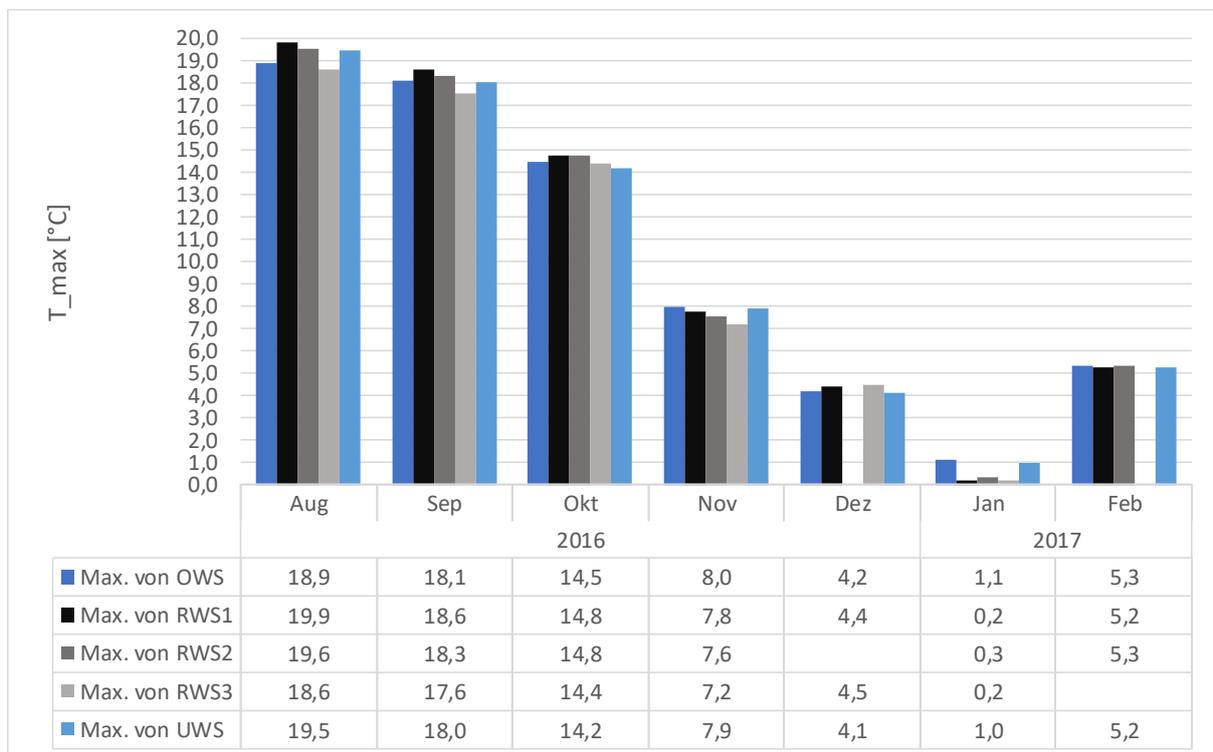


Abbildung 14: Maximaltemperaturen der Meßstellen in der Eger von August 2016 bis Februar 2017

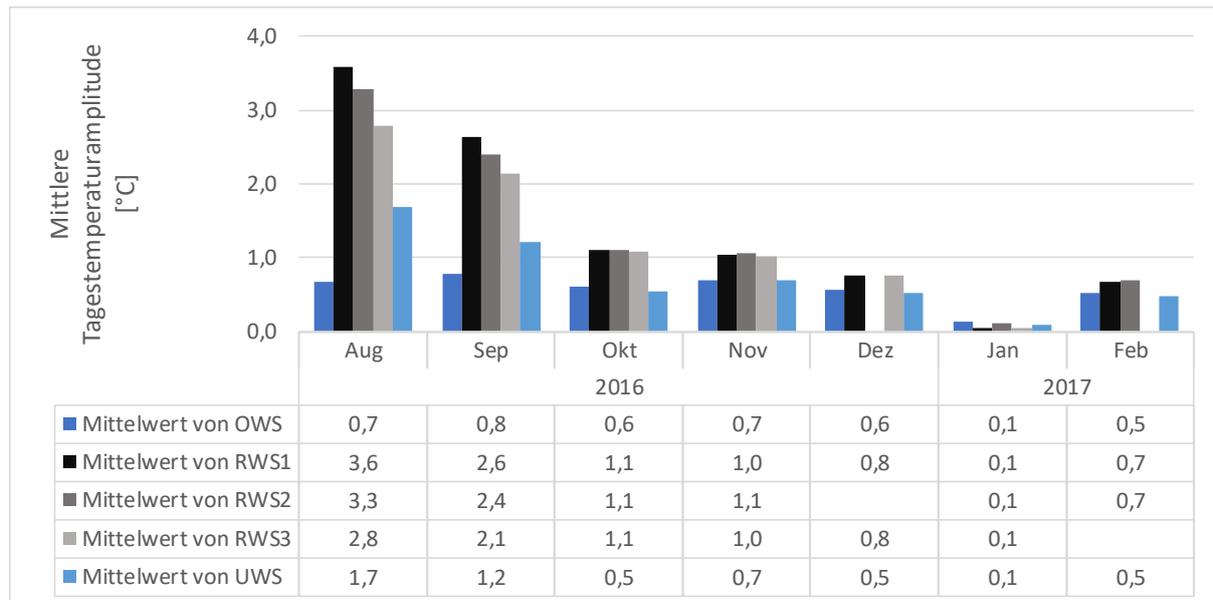


Abbildung 15: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Eger von August 2016 bis Februar 2017

Bei der Betrachtung der Temperaturamplitude zeigen sich die deutlichsten Unterschiede zwischen Restwasser- und Ausleitstrecke. Vor allem im August und September werden an allen Restwasserstandorten weit höhere Schwankungen gemessen als im Ober- und Unterwasser. Dabei wurde im Vergleich zum Oberwasser eine bis zu fünffache Temperaturdifferenz im Tageslauf festgestellt (RWS1 zu OWS im August 2016). In den beiden Monaten ist der Effekt auch noch im Unterwasser zu sehen, was in den Monaten ab Oktober nicht mehr der Fall ist. Zwischen Oktober und Februar sind die Temperaturschwankungen in der Restwasserstrecke aber weiterhin höher als in der Ausleitstrecke. Die Ausnahme ist der Januar, in dessen Verlauf alle Logger eingefroren waren.

5.3 Erlau

Für die Meßstellen RWS1 und RWS3 liegen wegen dem Verlust der Logger ab Januar 2017 keine Daten vor.

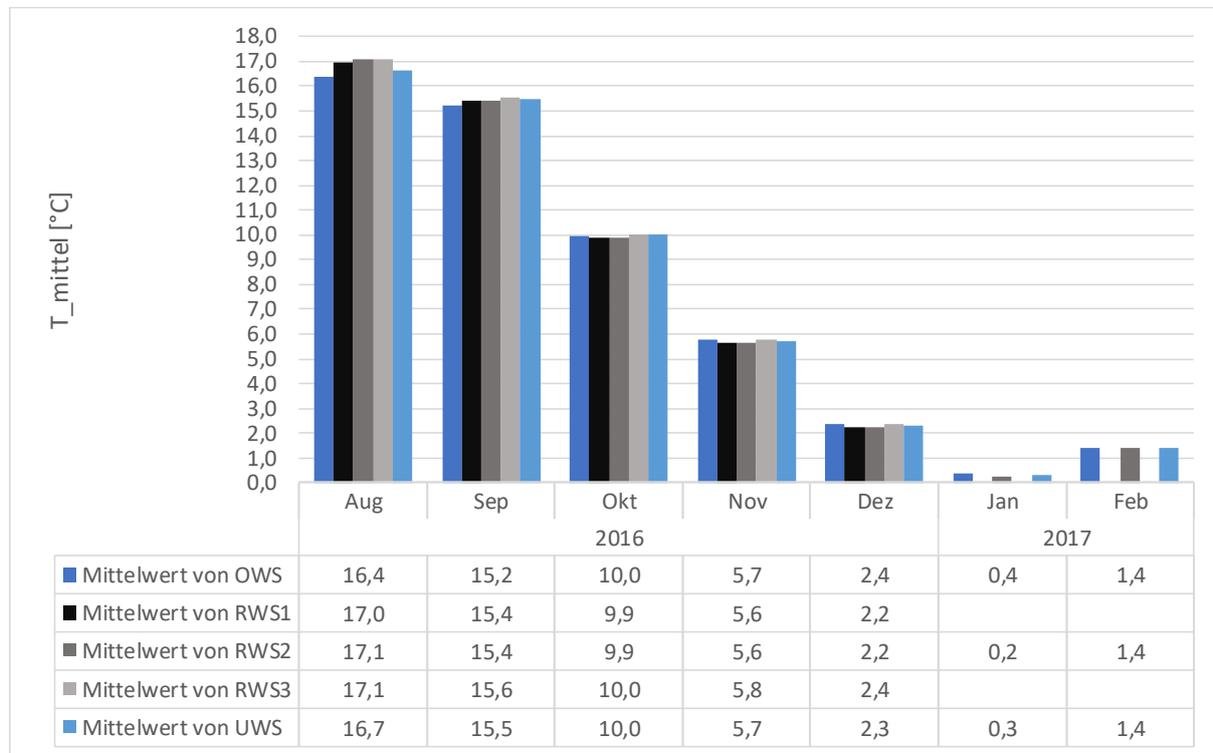


Abbildung 16: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Erlau von August 2016 bis Februar 2017

Vor allem im August und in geringerem Umfang im September wurden im Durchschnitt erhöhte Temperaturen in der Restwasserstrecke im Vergleich zum Oberwasser gemessen. Die Differenz ist mit maximal 0,7 bzw. 0,4 °C relativ hoch. Ebenso erwärmte sich das Unterwasser im Vergleich zum Oberwasser um 0,3 °C in beiden Monaten. Ab Oktober ist dieser Erwärmungseffekt nicht mehr festzustellen und die Unterschiede fallen zwischen allen Probestellen mit 0,1 bis 0,2 °C gering aus.

Bezüglich der Minimaltemperaturen sind keine größeren Unterschiede zwischen den einzelnen Meßstellen feststellbar. Die Unterschiede sind unregelmäßig verteilt und mit 0,1 bis 0,4 °C gering.

Bei der Betrachtung der Maximaltemperaturen zeigt sich der schon bei den Monatsdurchschnittstemperaturen beobachtete Erwärmungseffekt der Restwasserstrecke im August und September. Die Maximaltemperaturen sind mit einer Differenz von 3,9 bis 4,4 °C bzw. 3,1 bis 3,3 °C deutlich höher im Vergleich zu den im Oberwasser gemessenen Werten. Ab Oktober lassen sich vergleichbar zu den Minimaltemperaturen nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Meßstellen beobachten.

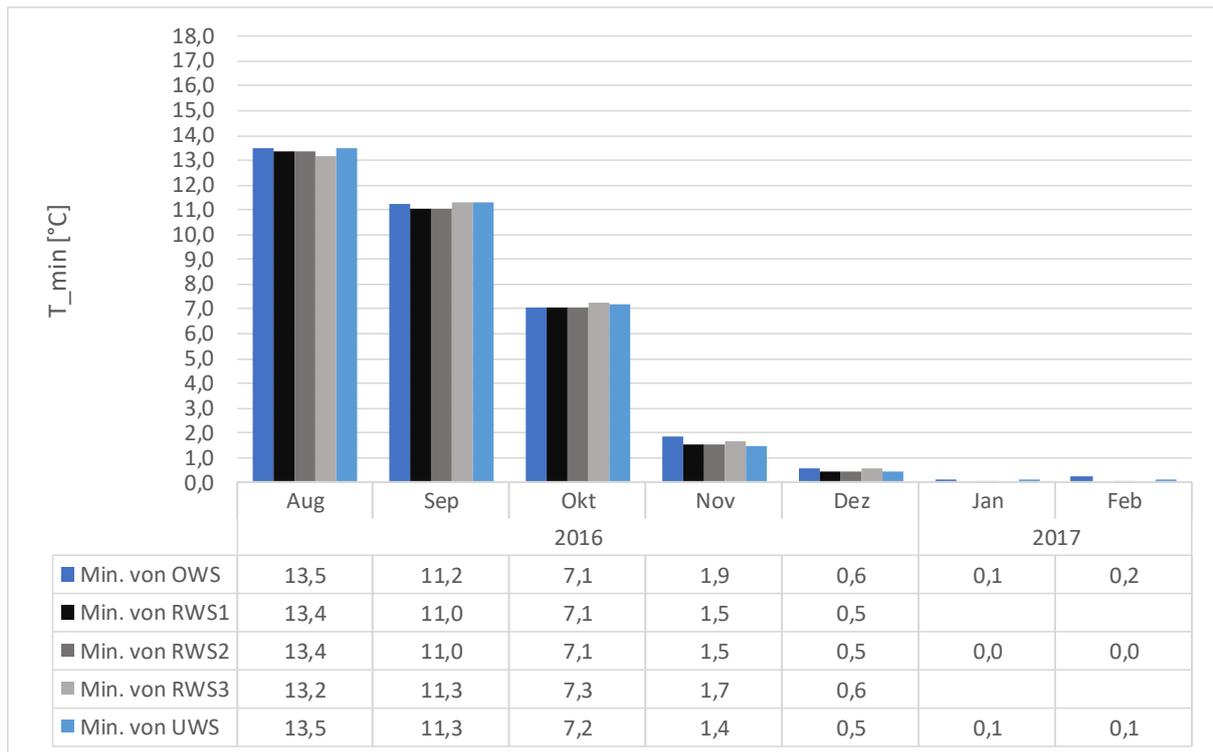


Abbildung 17: Minimaltemperaturen der Meßstellen in der Erlau von August 2016 bis Februar 2017

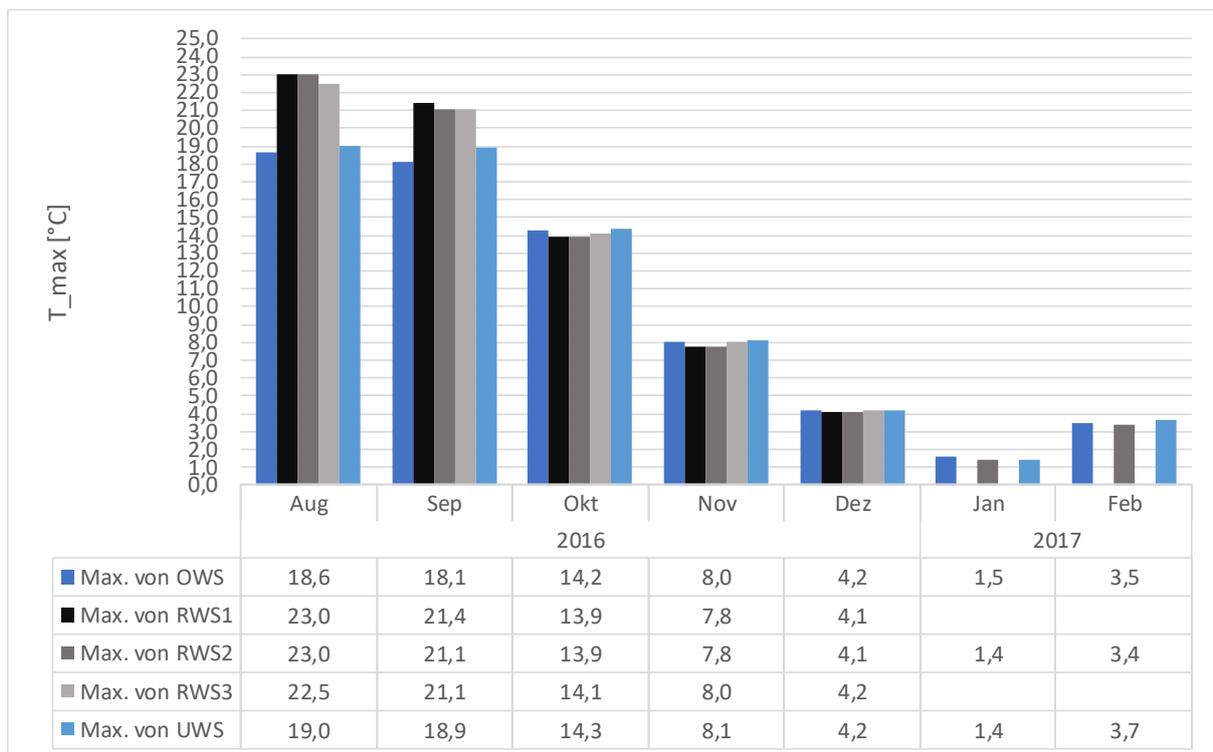


Abbildung 18: Maximaltemperaturen der Meßstellen in der Erlau von August 2016 bis Februar 2017

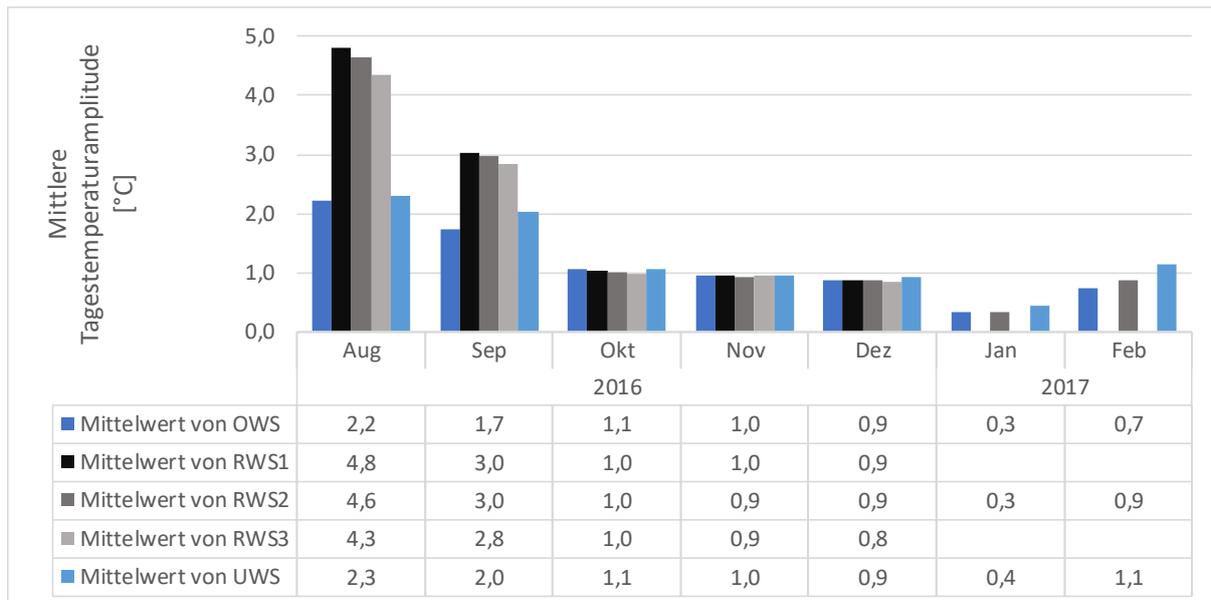


Abbildung 19: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Erlau von August 2016 bis Februar 2017

Vergleichbar zu der Situation an der Eger liegen sind die Tagestemperaturamplituden in der Restwasserstrecke der Erlau im August und September wesentlich höher im Vergleich zur Ausleitstrecke. Ab Oktober sind die Unterschiede nicht mehr sichtbar. Die Schwankungsbreite im August ist mit maximal 4,8 °C sehr hoch und übersteigt sogar die durch das Kühlwasser des Kraftwerks Zolling an der Amper maximal erzeugte mittlere Temperaturdifferenz von 4,4 °C. Allerdings liegen auch die Schwankungsbreiten im Ober- und Unterwasser mit 1,7 bis 2,3 °C relativ hoch.

5.4 Fränkische Rezat

Für die Meßstelle RWS1 existieren wegen Loggerverlust zwischen dem 08.09.2016 und dem 28.10.2016 keine Daten. Der Logger der Stelle RWS3 war ab dem 24.02.2017 außerhalb des Wassers, weswegen diese Daten nicht verwendet werden. Zudem fehlen ab dem 21.12.2016 die Daten der Meßstelle im Oberwasser, da der Logger entfernt, oder durch die Eisdecke abgerissen wurde.

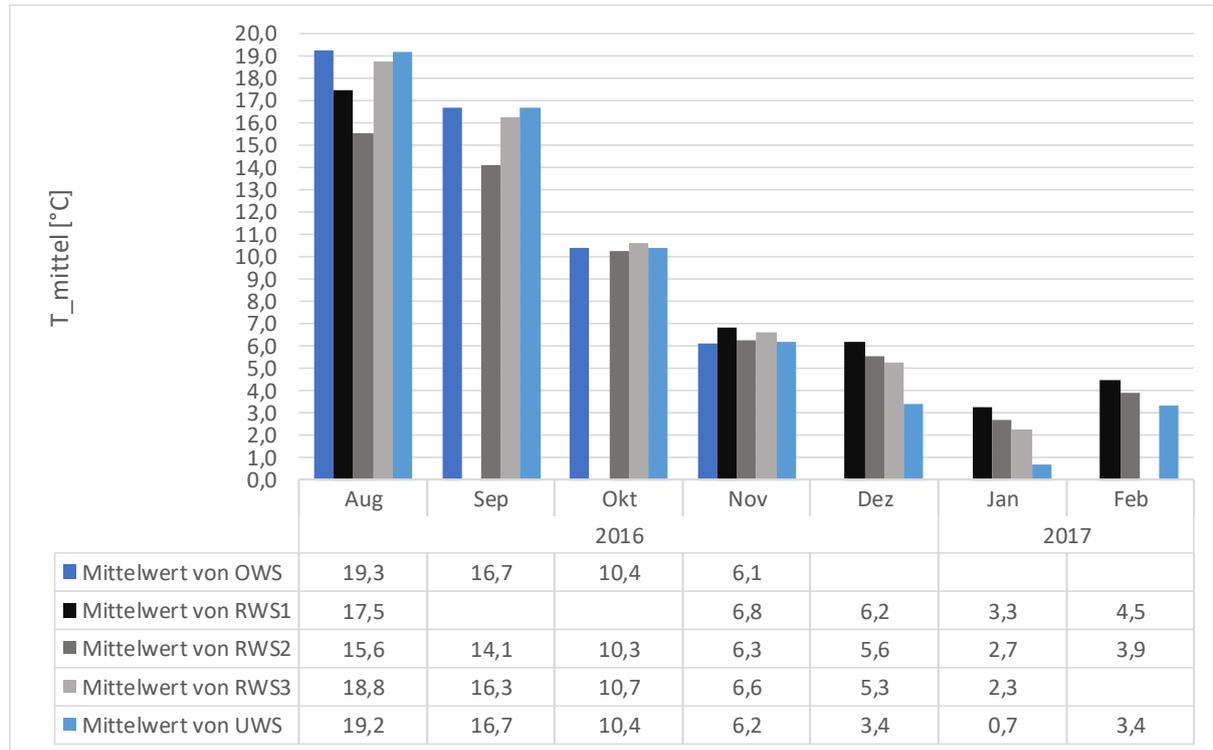


Abbildung 20: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Fränkischen Rezat von August 2016 bis Februar 2017

Die Verteilung der Monatsmitteltemperaturen der einzelnen Meßstellen ist sehr uneinheitlich. Für August und September liegen die Temperaturen in der Restwasserstrecke im Durchschnitt mit 0,5 bis 3,7 °C bzw. 0,4 bis 2,4 °C Unterschied deutlich niedriger als im Ober- und Unterwasser. Ab November, vor allem aber im Dezember und Januar liegen sie mit einem Maximum von 2,8 °C dagegen deutlich über den entsprechenden Werten. Insgesamt scheint es hier wegen der nahezu stehenden Verhältnisse in der Restwasserstrecke zu lokalen Schichtungen zu kommen, die die relativ großen Unterschiede auch innerhalb der Restwasserstrecke erklären könnten. Zudem waren die Logger in der Restwasserstrecke im Winter zumeist unterhalb der Eisdecke im tieferen Wasser, während der Logger im Unterwasser zeitweise einfroren.

Bei den Minimaltemperaturen zeigt sich ein zu den Durchschnittstemperaturen vergleichbares Bild. Im August wurden bis zu 3,3 °C geringere Temperaturen in der Restwasserstrecke im Vergleich zu Ober- und Unterwasser gemessen. Im November und Dezember wurden im Gegensatz bis zu 3,1 °C höhere Temperaturen aufgezeichnet.

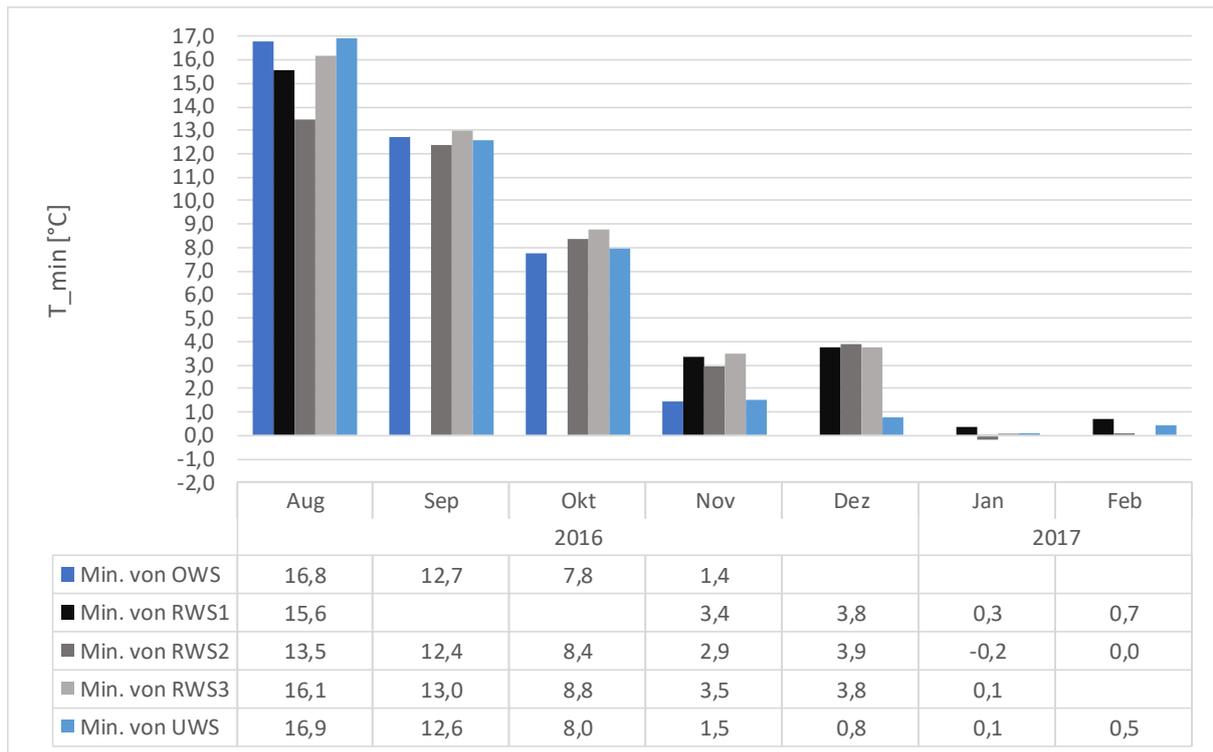


Abbildung 21: Minimaltemperaturen der Meßstellen in der Fränkischen Rezat von August 2016 bis Februar 2017

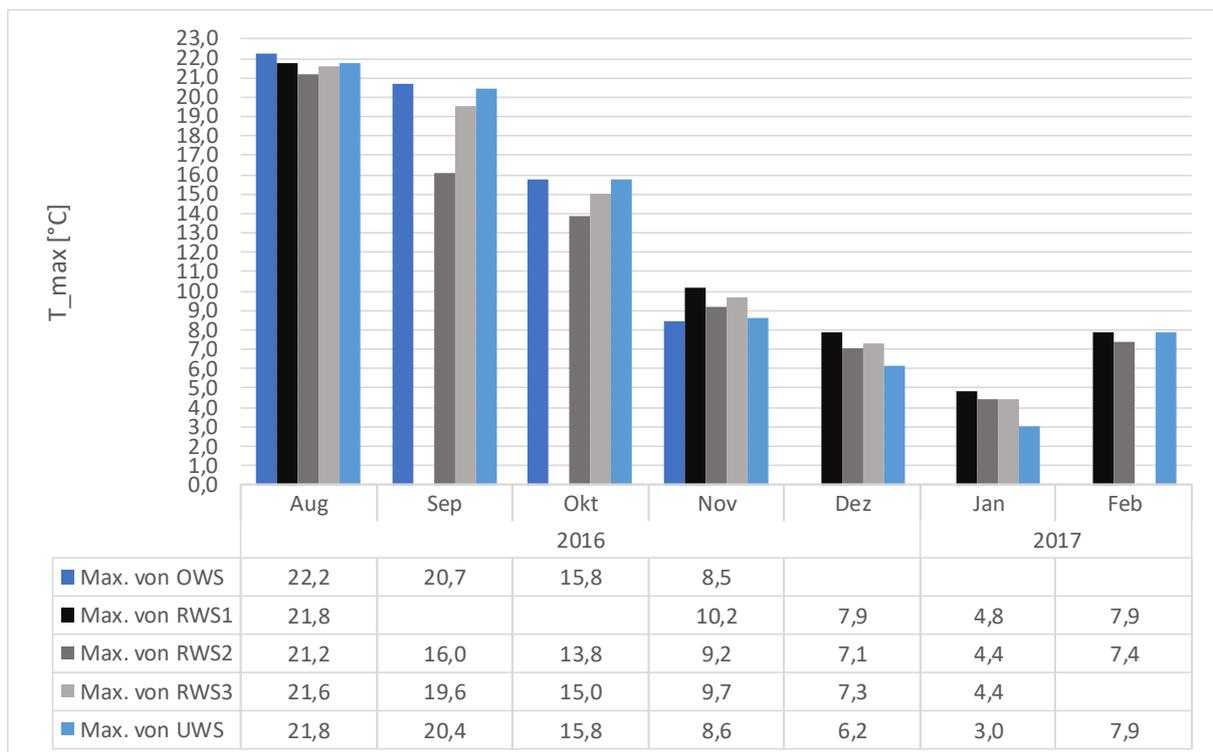


Abbildung 22: Maximaltemperaturen der Meßstellen in der Fränkischen Rezat von August 2016 bis Februar 2017

Bezüglich der Maximaltemperaturen werden in der Restwasserstrecke bis Oktober mit bis 4,7 °C Unterschied teilweise deutlich geringere Temperaturen als im Ober- und Unterwasser

verzeichnet. Ab November hingegen, liegen die Temperaturen dort, vergleichbar mit den Minimal- und Durchschnittstemperaturen, um bis zu 1,8 °C höher.

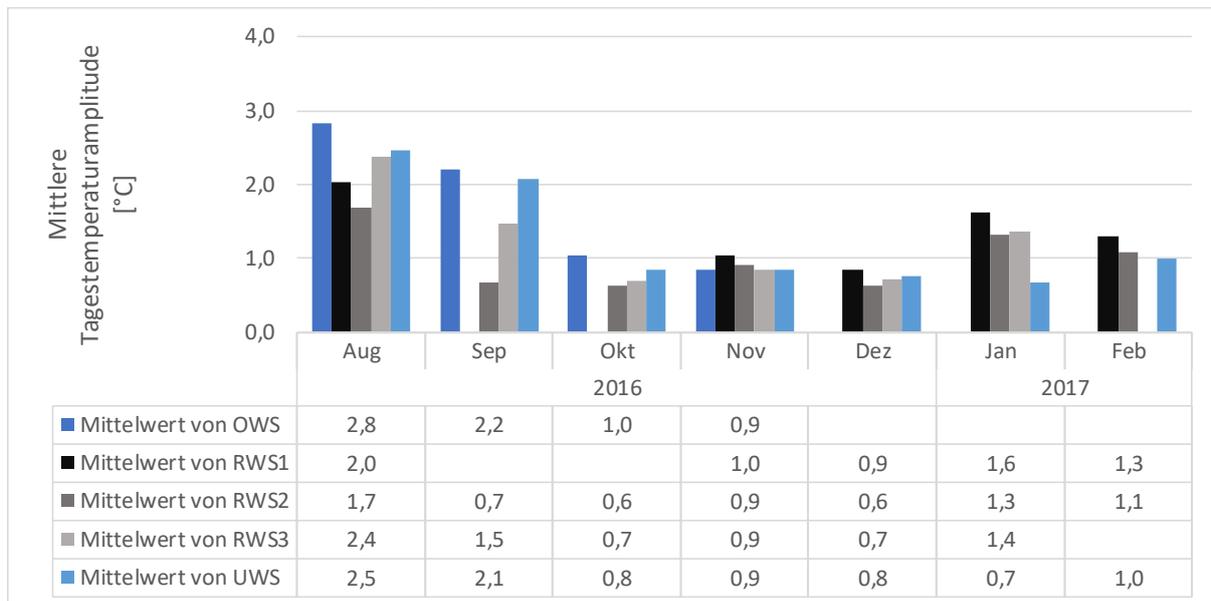


Abbildung 23: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Fränkischen Rezat von August 2016 bis Februar 2017

In Bezug auf die Tagestemperaturamplitude zeigt sich an der Fränkischen Rezat ein anderes Bild im Vergleich zu den schnell fließenden Restwasserstrecken, wie an der Erlau oder der Eger. Von August bis Oktober werden teils deutlich geringere Temperaturschwankungen in der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ober- und Unterwasser festgestellt. Im November, Dezember und Februar liegen sie dagegen in vergleichbaren bzw. leicht höheren Bereichen. Im Januar wurden sogar bis zu doppelt so hohe Tagestemperaturschwankungen im Vergleich zum Unterwasser gemessen. Allerdings waren die Logger in der Restwasserstrecke die meiste Zeit unterhalb der Eisschicht, während der Logger im Unterwasser einfrohr, was diesen Sachverhalt erklärt.

5.5 Fränkische Saale

An der Fränkischen Saale befand sich der Logger der Stelle OWS zwischen dem 23.08.2016 bis 09.09.2016 außerhalb des Wassers. Dieser Zeitraum wurde für alle Meßstellen von der Auswertung ausgeschlossen. Der Logger der Meßstelle RWS3 hatte zwischen dem 09.09.2016 und 28.10.2016 einen Batteriefehler, weswegen von diesem Zeitraum keine Daten vorliegen und beide Monate nicht in den Grafiken angezeigt werden. An der Meßstelle RWS 2 fror der Logger zwischen dem 29.11.2016 und 28.02.2016 im Gegensatz zu den restlichen Meßstellen mehrmals über eine längere Zeit ein, weswegen auch diese Daten nicht verwendet wurden.

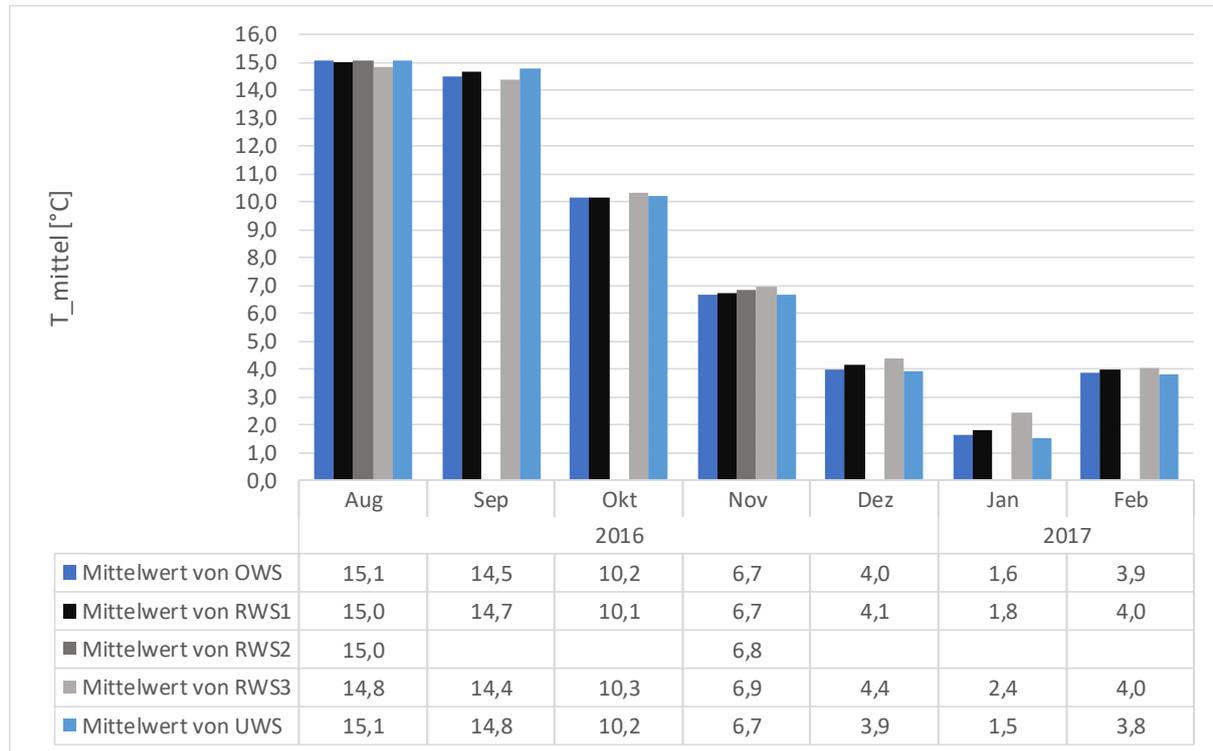


Abbildung 24: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Fränkischen Saale von August 2016 bis Februar 2017

Im Monatsmittel zeigen sich nur sehr geringe Temperaturunterschiede zwischen allen Meßstellen der Fränkischen Saale. Zwischen August und Oktober treten Differenzen von 0,1 bis 0,4 °C auf. Ab November sind die Restwassersmeßstellen durchgehend geringfügig wärmer als das Ober- und Unterwasser. Allerdings sind die Abweichungen mit Beträgen von 0,1 bis 0,9 °C gering.

Betrachtet man die Minimaltemperaturen in den einzelnen Monaten, so zeigen sich geringfügig höhere Werte in der Restwasserstrecke ab November. Die Erhöhung ist aber mit 0,1 bis 1,2 °C nur gering.

Bezüglich der Maximaltemperaturen läßt sich über die Monate abgesehen vom Januar kaum ein Trend ausmachen. Die Differenzen zwischen einzelnen Meßstellen liegen dabei zwischen 0,1 und 1,0 °C. Im Januar wurden in der Restwasserstrecke um 0,3 bis 1,2 °C wärmere Maximaltemperaturen gemessen.

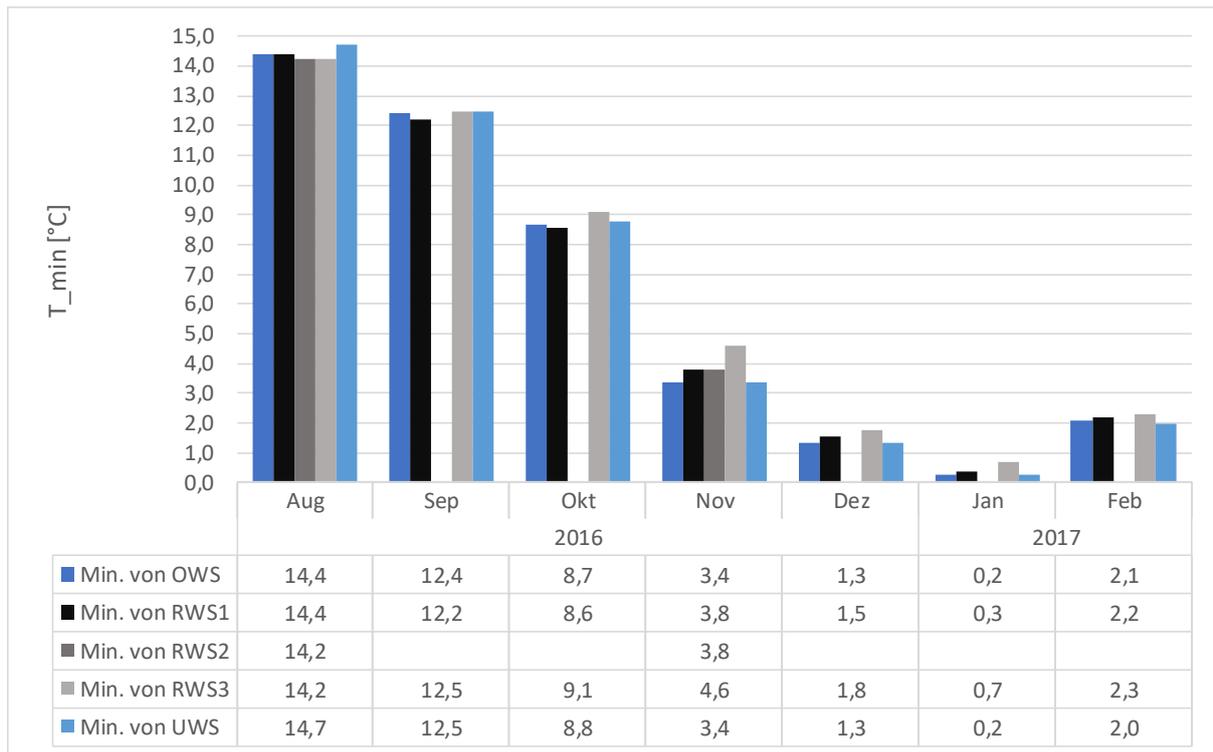


Abbildung 25: Minimalwerte der Meßstellen in der Fränkischen Saale von August 2016 bis Februar 2017

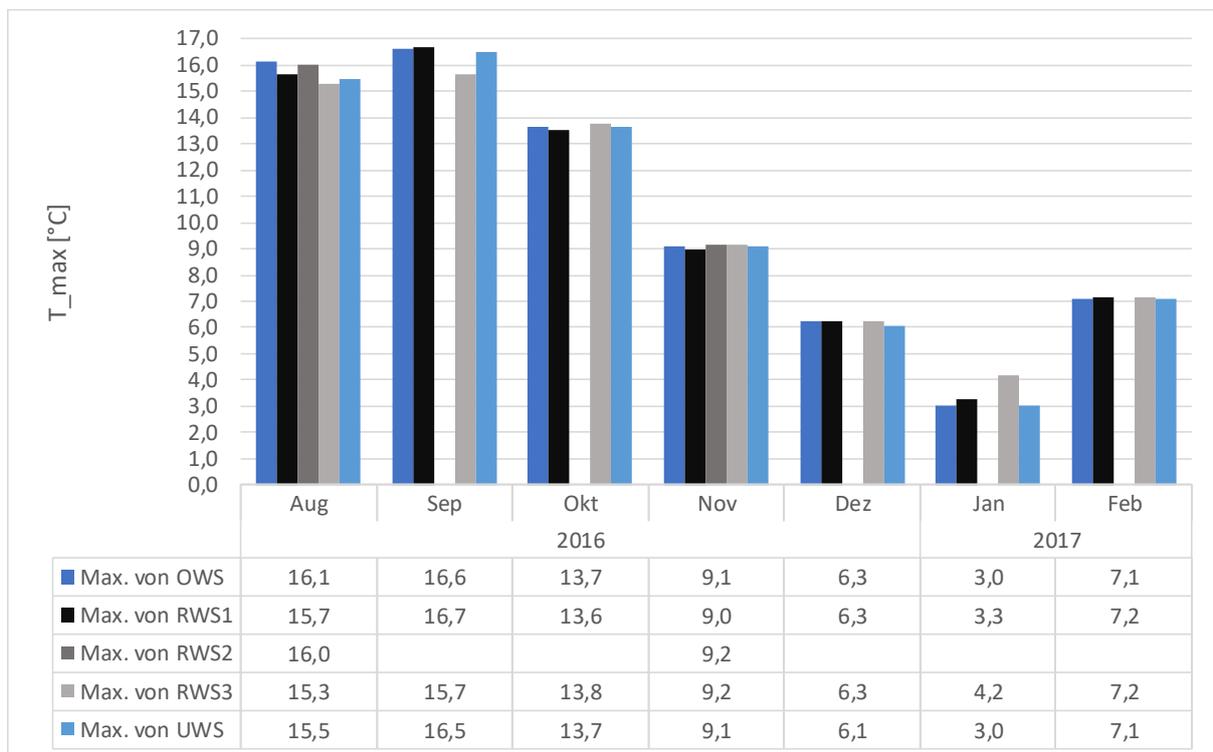


Abbildung 26: Maximalwerte der Meßstellen in der Fränkischen Saale von August 2016 bis Februar 2017

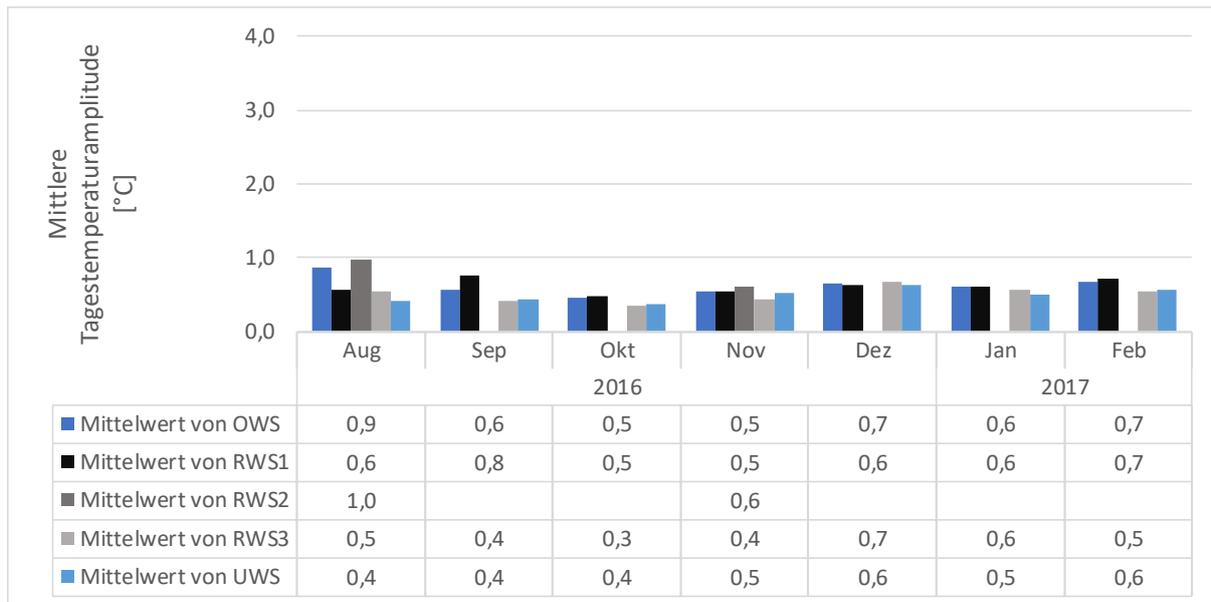


Abbildung 27: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Fränkischen Saale von August 2016 bis Februar 2017

Die Tagestemperaturschwankungen in der Restwasserstrecke und dem Ober- und Unterwasser liegen im gesamten Untersuchungszeitraum in vergleichbaren Bereichen. Die maximale Amplitude von 1,0 °C ist im Vergleich zu den anderen untersuchten Gewässern gering.

5.6 Haidenaab

Die Temperaturwerte der Meßstelle RWS3 wurden im September und Oktober von der Betrachtung ausgeschlossen, das wegen Verlust des Loggers für die beiden Monate nur sehr wenige Daten vorlagen, die das Gesamtbild verfälschen. Ebenso wurde mit den Daten der Stelle RWS1 im November und Dezember verfahren, deren Logger teilweise außerhalb des Wassers lag.

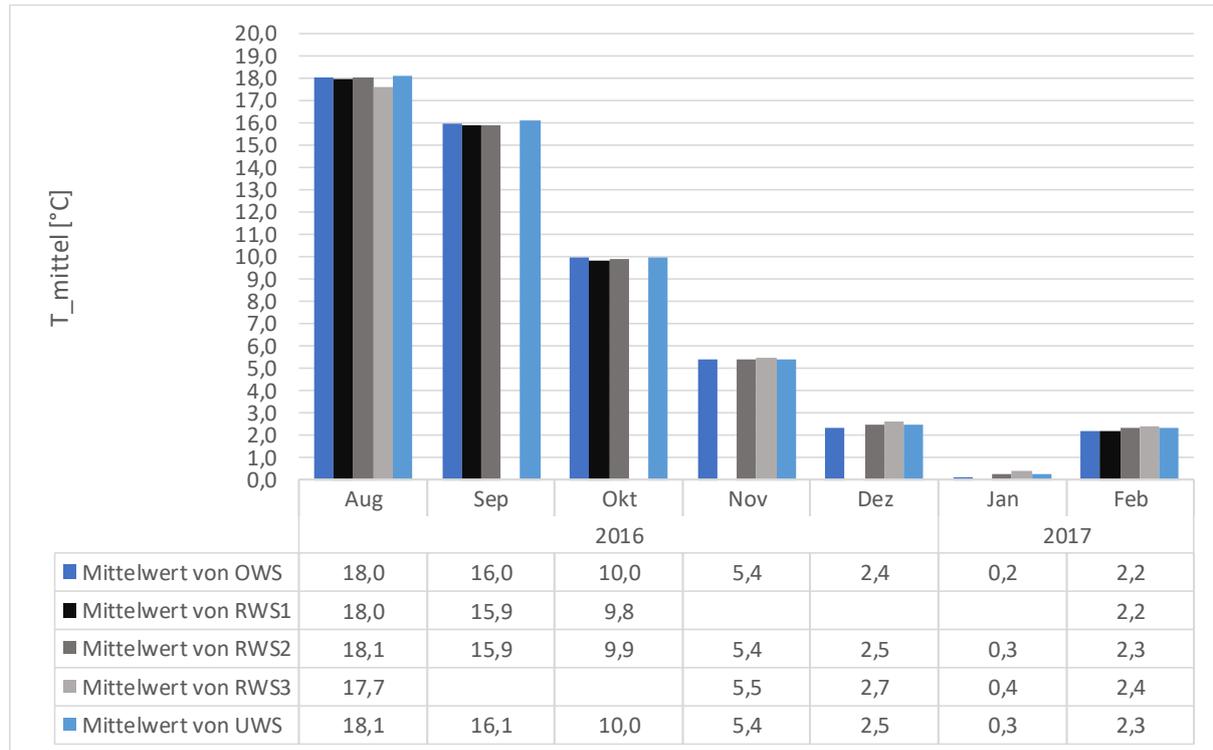


Abbildung 28: Monatsmittelwerte der Meßstellen in der Haidenaab von August 2016 bis Februar 2017

Die Monatsmitteltemperaturen der Meßstellen in der Haidenaab weichen über den gesamten Untersuchungszeitraum nur geringfügig voneinander ab. Die Differenzen lagen zwischen 0,1 und 0,4 °C.

Die Minimaltemperaturen waren von August bis Oktober tendenziell geringer als im Ober- und Unterwasser. Die Abweichungen betragen aber nur geringe 0,2 bis 0,8 °C. Ab November wurden an allen Meßstellen geringe Minimaltemperaturen unter 1,0 °C gemessen.

Im August und September wurden in der Restwasserstrecke und dem Unterwasser um bis zu 1,5 °C erhöhte Maximaltemperaturen im Vergleich zum Oberwasser nachgewiesen. Von Oktober bis Januar sind die Maximaltemperaturen an allen Meßstellen vergleichbar. Im Februar war eine kontinuierlich Steigerung der Maximaltemperaturen vom Ober- bis zum Unterwasser um maximal 0,6 °C feststellbar.

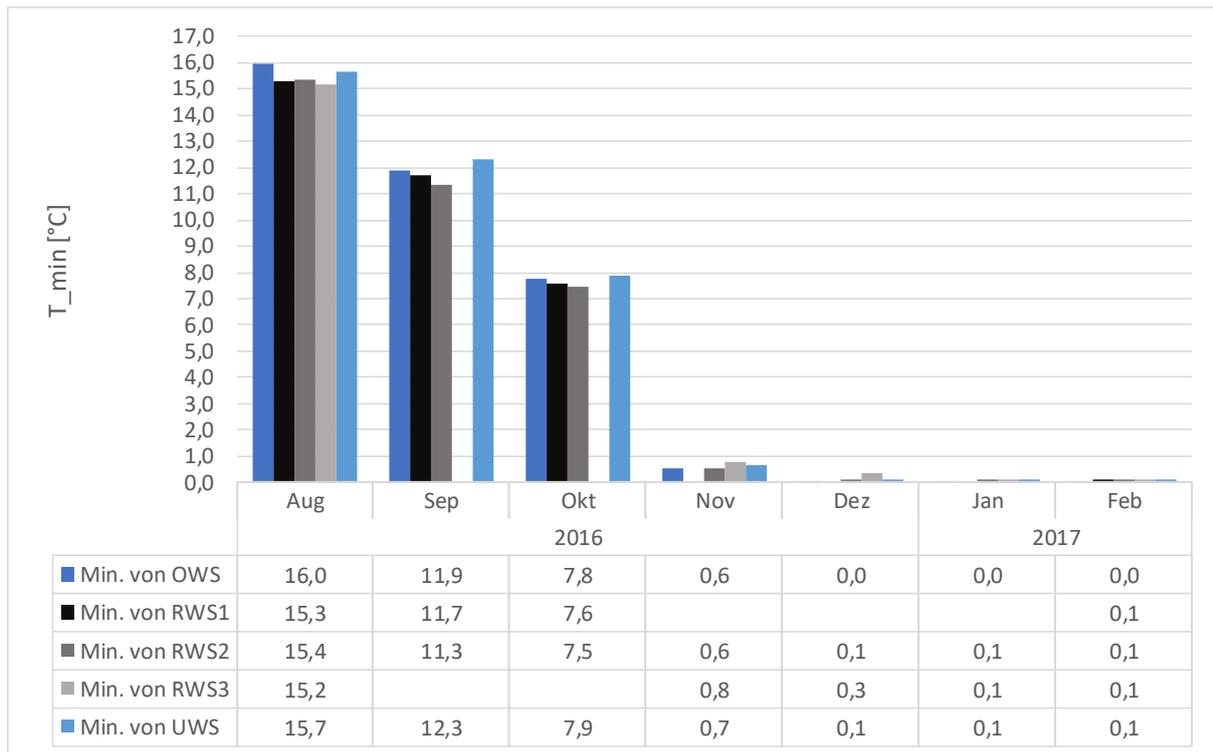


Abbildung 29: Minimalwerte der Meßstellen in der Haidenaab von August 2016 bis Februar 2017

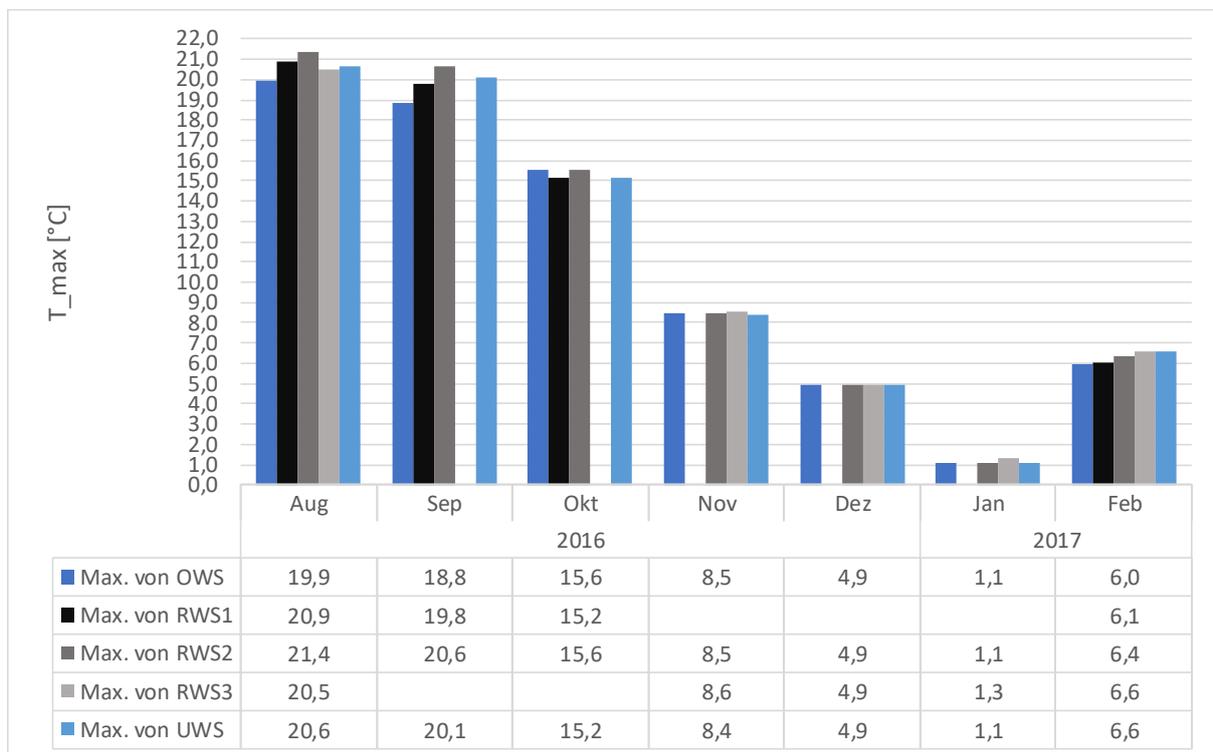


Abbildung 30: Maximalwerte der Meßstellen in der Haidenaab von August 2016 bis Februar 2017

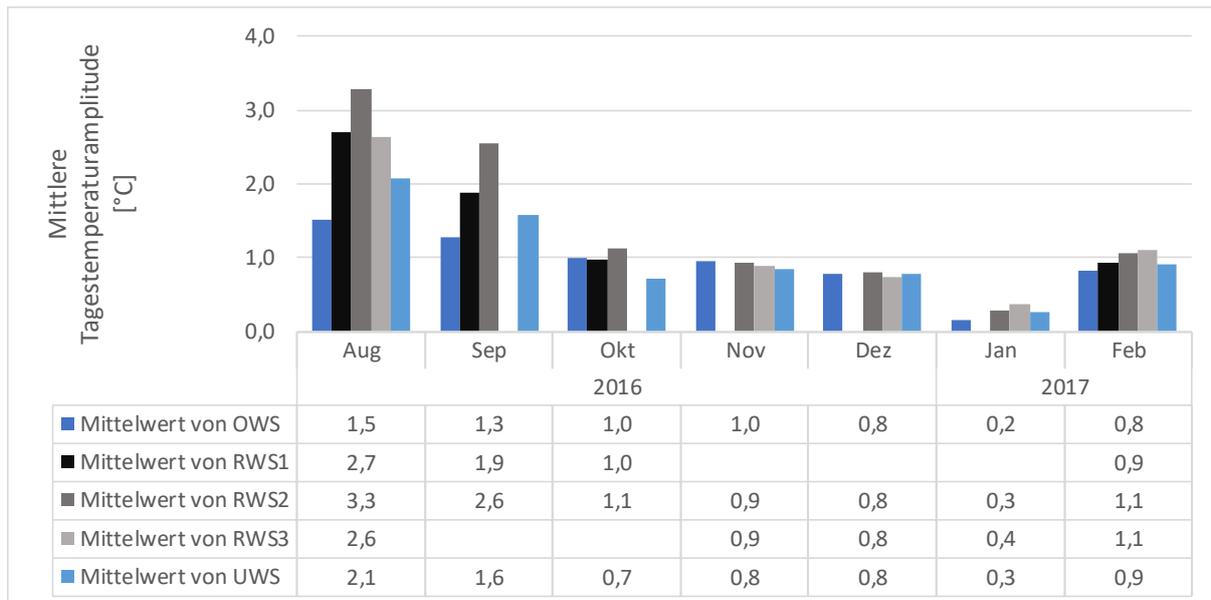


Abbildung 31: Mittlere Tagestemperaturamplitude an den Meßstellen in der Haidenaab von August 2016 bis Februar 2017

Wie an der der Amper, Eger und Erlau wurden auch an der Haidenaab größere Tagestemperaturschwankungen in der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ober- und Unterwasser im August und September beobachtet. Maximal sind die Differenzen in der RWS um 1,8 bzw. 1,3 °C höher. Ab Oktober sind die Temperaturamplituden an allen Meßstellen vergleichbar. Lediglich im Februar wurden leicht höhere Schwankungen in der Restwasserstrecke verzeichnet.

5.7 Halblech

Die Messungen im Halblech gestalteten sich über den gesamten Untersuchungszeitraum schwierig. Kurz nach dem Ausbringen der Logger kam es zu einem starken Hochwasser bei dem einer (RWS1) der ursprünglich 4 Logger verloren ging. An der Meßstelle im Oberwasser wurde der Logger 0,5 m unter Kies begraben, hatte aber noch Kontakt zur Wassersäule. An der Meßstelle RWS 3 wurde der Logger ebenfalls etwa 0,3 m zugeschüttet und zudem viel die neu gebildete Kiesbank komplett trocken. Nach dem Versetzen an die andere Uferseite an ein ebenfalls flach überströmtes Stück fiel der Sensor auch in Folge wegen schwankender Wasserstände trocken. Im November wurden in der RWS größere Erdbewegungen durchgeführt, die schließlich zum Verlust des Loggers der Meßstelle RWS2 führte. Insgesamt können so nur die Daten der Meßstellen OWS und RWS2 im Zeitraum von August bis Oktober verglichen werden. Dabei mußten teilweise Daten der Meßstelle im Oberwasser ausgeschlossen werden, da der Logger hier durch Verdriftung auch zeitweilig außerhalb des Wassers lag.

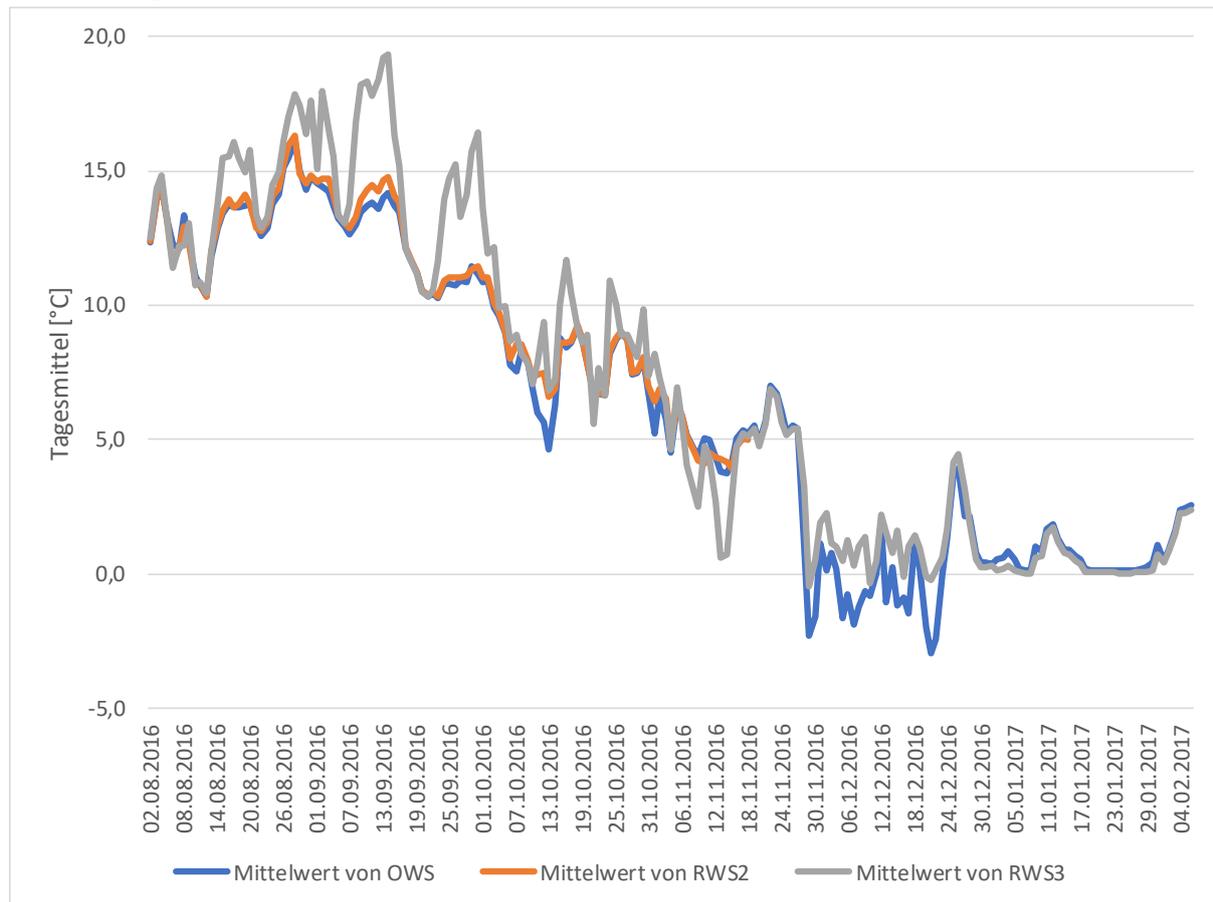


Abbildung 32: Tagesmittelwerte der Meßstellen im Halblech

Bei der Betrachtung der Monatsmittelwerte weisen beide Meßstellen durchweg vergleichbare Temperaturen auf. Im August und September war die Restwasserstrecke im Vergleich zum Oberwasser mit 0,1 bzw. 0,3 °C geringfügig wärmer. Im Oktober dagegen um 0,1 °C kälter.

Auch bei den Minimaltemperaturen sind beide Meßstellen vergleichbar. Im August und Oktober wurden dabei jeweils in der Restwasserstrecke um 0,1 °C geringere Temperaturen gemessen.

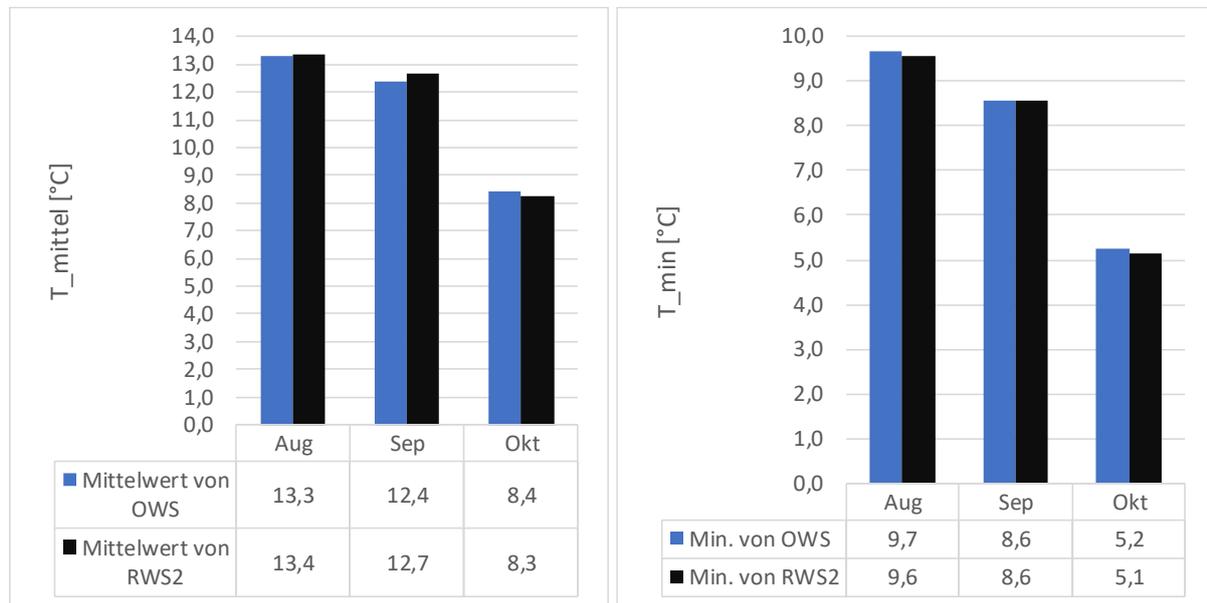


Abbildung 33: Monatsmittelwerte und Minimalwerte der Meßstellen im Halblech von August bis Oktober 2016

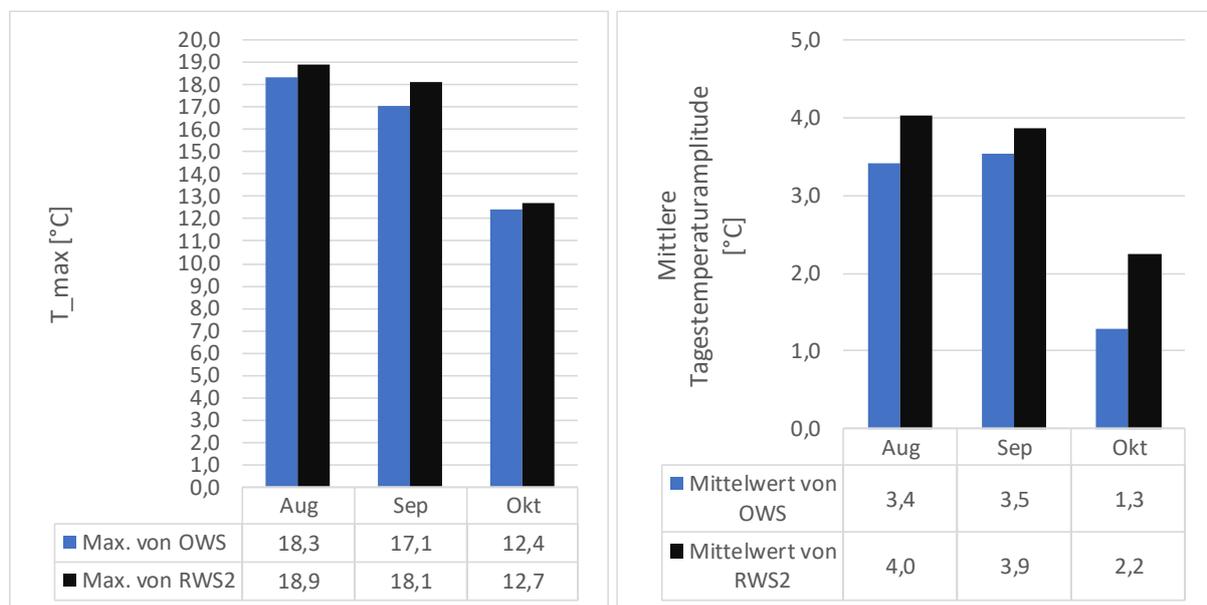


Abbildung 34: Maximalwerte Mittlere Tagestemperaturamplitude der Meßstellen im Halblech von August bis Oktober 2016

In Bezug auf die Maximaltemperaturen ließen sich im betrachteten Zeitraum 0,3 bis 1,0 °C höhere Maximaltemperaturen in der Restwasserstrecke feststellen.

Die Tagestemperaturamplitude war in allen Monaten in der Restwasserstrecke größer, als im Oberwasser. Die Differenz betrug dabei zwischen 0,4 und 0,9 °C. Auffallend ist die im Vergleich

zu den anderen untersuchten Gewässern generell hohe mittlere Tagesschwankung von bis zu 3,5 °C. im Oberwasser.

6 Zusammenfassende Betrachtung

Insgesamt betrachtet konnten Unterschiede im Temperaturregime der Restwasserstrecken im Vergleich zum Ober- und Unterwasser beobachtet werden. Dabei zeigen sich Tendenzen, die sich an den spezifischen Begebenheiten der einzelnen Gewässer festmachen lassen.

Tabelle 4: Vergleich der Gewässer und beobachteten Temperaturänderungen in der Restwasserstrecke (RWS) und Ausleitstrecke (ALS)

Gewässer	Charakteristik RWS	Charakteristik ALS relativ zur RWS	Tendenz RWS/ALS Sommer	Tendenz RWS/ALS Winter
Amper	flach, schnell fließend, beschattet	tief, langsamer, unbeschattet	kühler, größere Amplitude	keine
Eger	flach, schnell fließend, beschattet	tief, langsamer, beschattet	kühler, größere Amplitude	kühler
Haidenaab	flach, schnell fließend, tlw beschattet	tief, langsamer, tlw beschattet	keine, größere Amplitude	keine
Halblech	flach, schnell fließend, unbeschattet	tief, langsamer, unbeschattet	wärmer, größere Amplitude	keine
Erlau	flach, schnell fließend, unbeschattet	tief, langsamer, unbeschattet	wärmer, größere Amplitude	keine
Fränkische Saale	tief, fast stehend, beschattet	fließend, sonst vergleichbar	keine	wärmer
Fränkische Rezat	tief, fast stehend, beschattet	fließend, sonst vergleichbar	kühler, kleinere Amplitude	wärmer, größere Amplitude

Die schnell fließenden und weitgehend beschatteten Restwasserstrecken der Amper und Eger weisen im Sommer eine Tendenz zur Abkühlung relativ zur Ausleitstrecke auf. Zudem ist die Amplitude zwischen Minimal- und Maximalwerten größer. Durch das geringere Wasservolumen des Wasserkörpers und die starke Durchmischung verursacht durch die höhere Fließgeschwindigkeit sind die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf größer. Durch die Beschattung erwärmt sich die Restwasserstrecke im Mittel trotz höherer Maximalwerte weniger als die Ausleitstrecke. Im Winter überwiegt dann der prägende Faktor der Umgebungstemperatur, wodurch die Unterschiede verschwinden.

An der Haidenaab lassen sich weder im Sommer noch im Winter nennenswerte Tendenzen der Monatsmitteltemperaturen erkennen. Die Ausleit- und Restwasserstrecke ähneln sich hier morphologisch und auch vom Abfluß mehr als die vorigen Beispiele. Allerdings ist auch hier die Restwasserstrecke im Sommer größeren Temperaturschwankungen unterworfen.

Der Halblech und die Erlau weisen beide flache, schnell fließende, nur wenig beschattete Restwasserstrecken auf. In beiden lassen sich im Sommer im Mittel eine leichte Erwärmung der Restwasserstrecke und ausgeprägtere Tagestemperaturschwankungen im Vergleich zur Ausleitstrecke feststellen. Wie an der Amper und Eger sind die Schwankungen bedingt durch das Volumen und die Fließgeschwindigkeit. Durch die fehlende Beschattung erwärmen sich die Restwasserstrecken allerdings stärker, was auch im Mittel zu einer erhöhten Temperatur verglichen zur Ausleitstrecke führt.

In den beiden fast stehenden Restwasserstrecken der Fränkischen Rezat und Fränkischen Saale sind grundlegend andere Temperaturverhältnisse relativ zu den anderen untersuchten Gewässern vorzufinden. Insgesamt scheint es hier wegen der nahezu stehenden Verhältnisse in der Restwasserstrecke zu lokalen Schichtungen zu kommen. Vor allem in der Fränkischen Rezat zeigt sich so ein fast konträres Bild zu den schnell fließenden Strecken. Es existiert eine Tendenz zur Abkühlung der Restwasserstrecke im Sommer und zur Erwärmung im Winter. Die Temperaturschwankungen im Sommer sind geringer verglichen zur Ausleitstrecke und im Winter teilweise größer. Es zeigt sich also eine ausgleichende Wirkung auf den Temperaturhaushalt im Gewässer, die an ein abgeschlossenes, stehendes Gewässer erinnert.

7 Auswirkungen auf die Fischzönosen

Fische sind wechselwarm (poikilotherm), d.h. sie können keine konstante Körpertemperatur aufrechterhalten, so daß ihre Temperatur eine direkte Funktion der Wassertemperatur ist. Nach der thermischen Anpassung liegt die Temperatur der Fische zirka 0.1-1 °C über der umgebenden Wassertemperatur. Der Austausch von Wärme geschieht vorwiegend über die äußere Körperoberfläche und zu einem geringeren Teil auch über die Kiemen (Beitinger et al. 2000). Eine Veränderung der Wassertemperatur durch z.B. anthropogene Einflüsse wirkt sich daher direkt auf alle Lebensstadien (Eier, Juvenile und Adulte) aus. Auch die Fortpflanzungsstrategie vieler rheophiler Fische wie z.B. der Nase ist durch Temperaturveränderungen des Wassers beeinflusst und kann sich somit ändern.

Allerdings reagieren Fischarten unterschiedlich auf Temperaturveränderungen. So kann sich z.B. eine Temperaturerhöhung im Winter positiv auf die Entwicklung von Salmoniden-Eiern auswirken. Adulte Salmoniden sind allerdings an tiefe Temperaturen adaptiert. Cypriniden und Perciden sind überwiegend wärmeliebend – hier wirkt sich eine Erhöhung der Temperatur vorteilhaft aus. Eine Temperaturveränderung kann sich demnach je nach Fischart positiv oder negativ auswirken. In Tabelle 4 sind Temperaturgrenzwerte für verschiedene Arten und deren Entwicklungsstadien angegeben.

Tabelle 5: Temperaturgrenzwerte in °C für ausgewählte Fischarten (Bf: Bachforelle, Ae: Äsche, Ko: Koppe, Ba: Barbe, Ai: Aitel, Sn: Schneider, Na: Nase, La: Laube, Ra: Rotaugen, Sm: Schmerle, Gr: Gründling, Aa: Aal) abgeändert nach Küttel et al. 2000

Fischart		Bf	Ae	Ko	Ba	Ai	Sn	Na	La	Ra	Sm	Gr	Aa
Eier	Maximum	14	16	-	21	30	-	19	31	27	14	-	-
	Oberes Optimum	9	14	-	21	24	-	17	27	20	14	-	-
	Unteres Optimum	1	7	-	16	16	-	12	21	12	-	-	-
	Minimum	0	0	-	16	16	-	10	14	5	-	-	-
Juvenile	Maximum	28	-	33	-	-	-	-	-	-	34	-	-
	Oberes Optimum	14	-	27	-	-	-	-	-	-	25	-	-
	Unteres Optimum	7	-	5	-	-	-	-	-	-	6	-	15
	Minimum	0	-	0	14	-	-	-	-	-	0	-	-
Adulte	Maximum	30	26	33	30	39	27	-	38	38	34	37	39
	Oberes Optimum	19	18	15	-	25	27	-	20	25	28	27	30
	Unteres Optimum	4	4	10	-	8	18	-	-	8	5	-	8
	Minimum	0	0	0	-	8	18	-	-	0	0	-	0

Im Blick auf die vorgefundenen Eigenschaften des Temperaturregimes der untersuchten Restwasserstrecken erscheinen vor allem die erhöhten Maximaltemperaturen und die größere Temperaturamplitude problematisch. Für kaltstenotherme Arten wie die Koppe oder die Salmoniden werden teilweise jetzt schon die Temperaturoptima überschritten. Mit zunehmender Durchschnittstemperatur im Zuge des Klimawandels wird sich dieses Problem weiter verschärfen. Als weitere Folge des Klimawandels könnten vor allem im Sommer mit größerer Häufigkeit Niedrigwassersituationen auftreten. Nach bisherigen Erfahrungen erhalten viele Restwasserstrecken in Niedrigwasserphasen zu wenig Dotation. Das geringe Wasservolumen verstärkt die Problematik der Maximaltemperaturen und größeren Amplituden zusätzlich. Vor allem in Forellen- und Äschenregion kann dies für die stark vertretenen kalt-stenothermen Arten zu längerfristig suboptimalen Lebensbedingungen führen, die in verminderter Konkurrenz und Verschiebungen im Artenspektrum führen könnten. Da diese Regionen aber auch durch hohe Fließgeschwindigkeiten und grobkörnige Substrate geprägt sind, ist eine Eignung für viele temperaturtolerante Arten nicht gegeben. Als Folge kann ein Rückgang der kalt-stenothermen Arten möglicherweise nicht durch tolerante Arten ausgeglichen werden, was zu einer generellen qualitativen und quantitativen Verarmung dieser Fischregionen führen könnte.

Insgesamt stellen größere Temperaturschwankungen ein Streßfaktor für alle Fischarten dar. Dadurch könnte die Widerstandskraft gegen andere Streßfaktoren sinken und zu einer generell verminderten Fitneß und Anfälligkeit für Krankheiten resultieren.

Um eine Bewertung des Einflusses einer Temperaturveränderung auf die Fischfauna speziell der untersuchten Fließgewässer abzugeben, wurden anhand der Referenzbiozönosen (Tab. 4) die Leitarten für die jeweiligen Untersuchungsgebiete ermittelt. Für die in die Donau mündende Erlau ist keine Referenzbiozönose verfügbar.

Tabelle 6: Referenzbiozönosen der untersuchten Gewässer. Nicht relevante Fischarten werden nicht angezeigt, Leitarten sind hervorgehoben. Für die Erlau ist keine Referenzbiozönose verfügbar

Gewässername	Halblech	Amper	Eger	Haidenaab	Fränk. Rezat	Fränk. Saale
Ref. Nr.	413	148	229	192	273	299
Reg. Bez.	Obb.	Obb.	Ofr.	Opf.	Mfr.	Ufr.
Aal			2,0		2,0	6,0
Aland, Nerfling		4,0		1,0	2,0	
Äsche	1	4,9	25	10,0	0,1	8,0
Atlantischer Lachs						0,5
Bachforelle	49	0,1	15,4	0,9		27,0
Bachneunauge			1,5	0,3		0,5
Bachsaibling						
Barbe		13,0	4	11,5	5,0	0,6
Barsch, Flussbarsch		5,0	2		1,0	1,0
Bitterling		0,4			0,1	
Brachse, Blei		2,0	0,1		0,3	
Döbel, Aitel		9,0	12	30,0	17,0	8,0
Dreist. Stichling						0,5
Elritze	1	2,0	2,0	4,0	0,1	4,0
Frauennerfling		3,0				
Giebel						
Groppe, Mühlkoppe	49	0,1	5,0	6,0		10,0
Gründling		8,0	9,0	9,0	27,9	5,0
Güster			0,1			
Hasel		7,8	9,0	13,0	17,0	8,0
Hecht		3,0	0,5	0,9	0,5	0,1
Huchen		0,9				
Karausche						
Karpfen		0,8			0,7	0,1
Kaulbarsch		0,1	0,1			
Nase		8,0	1,0	4,9	5,0	0,5
Quappe, Rutte		0,1	3,0	0,5		
Rapfen		0,5				
Rotauge, Plötze		8,0	2,0		13,0	6,0
Rotfeder		0,2			0,1	
Schlammpeitzger		0,1			0,1	
Schleie		0,1	0,1		0,8	0,2
Schmerle		2,0	4,9	4,0	5,3	10,0
Schneider		5,0	1,0	4,0		4,0
Schrätzer		0,1				
Steinbeißer		0,1				
Steingressling		2,0				
Streber		0,1				
Strömer		1,0				

Tabelle 6 Fortsetzung						
Gewässername	Halblech	Amper	Eger	Haidenaab	Fränk. Rezat	Fränk. Saale
Ref. Nr.	413	148	229	192	273	299
Reg. Bez.	Obb.	Obb.	Ofr.	Opf.	Mfr.	Ufr.
Ukelei, Laube		8,0	0,1		2,0	
Weißflossengründling		0,1				
Wels		0,1				
Zährte		0,2				
Zander		0,1				
Zingel		0,1				
Gesamt [%]	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Referenzarten	4	37	24	15	20	20
Anzahl Leitarten (max 10)	2	9	6	6	7	9
Typspezifische Arten	4	18	16	11	11	12
Begleitarten	0	19	8	4	9	8

7.1 Amper

Die Amper wird zu den cyprinidengeprägten Gewässern des Rhitrals zugeordnet. Leitarten des Gewässers sind Barbe, Aitel, Gründling, Nase, Laube, Rotaugen, Hasel, Barsch und Schneider. Alle Arten sind meso-eurytherm, d.h. sie sind an einen mittleren Temperaturbereich angepaßt und besitzen eine größere Toleranz bezüglich der Temperatur als oligo-stenotherme Vertreter wie z.B. Salmoniden. Das obere Optimum für die meisten Arten liegt bei 25 bis 27 °C, ausgenommen das der Laube (20 °C) (Tabelle 5). Die Daten der Temperaturmessung zeigen, daß die Restwasserstrecke geringfügig kälter im Vergleich zur Amper vor der Ausleitung ist. Ein Effekt aufgrund dieser Temperaturveränderung auf die meso-eurythermen Leitfischarten ist nicht zu erwarten. Die Wärmeeinleitung des Kraftwerks Zolling dürfte hier einen weitaus größeren Effekt auf die Fischfauna haben, vor allem da Temperaturen bis über 26 °C erreicht werden, die auch für temperaturtolerante Arten in zunehmend kritischen Regionen liegen. Die Temperaturschwankungen in der Restwasserstrecke sind im Vergleich leicht erhöht, aber deutlich niedriger als z.B. die Werte an der Erlau oder der Eger, weswegen auch hier von keinem größeren Effekt in naher Zukunft ausgegangen werden kann.

7.2 Eger

Die Eger ist dem Hyporhithral (Äschenregion) zuzuordnen. Die Leitfischarten nach der Referenzbiozönose sind Äsche, Bachforelle, Aitel, Mühlkoppe, Gründling und Hasel. Alle Arten bis auf Äsche und Mühlkoppe sind meso-eurytherm und sind somit an einen mittleren Temperaturbereich angepaßt (Tabelle 5). Der Optimumsbereich von Äsche und Mühlkoppe als oligo-stenotherme Fische ist weitaus geringer und liegt zwischen 4 und 18 °C bzw. 10 und 15 °C. Im Verlauf der Temperaturmessungen zeigte sich, daß die Temperatur-Monats-Mittel in der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ausleitungskanal geringfügig niedriger sind (August: 1,2 °C, Januar 0,2 °C). Die gemessenen Temperaturmaxima innerhalb der

Restwasserstrecke lagen allerdings im August mit bis zu 19,9 °C am oberen Optimumswert der Äsche und überschritt bereits den der Mühlkoppe. Eine weitere Erwärmung könnte sich somit relativ schnell negativ auf den Äschen- und Koppenbestand auswirken. Auch die weitaus höheren Schwankungen der Tagestemperaturamplituden innerhalb der Restwasserstrecke im Vergleich zu der Ausleitungsstrecke könnten empfindliche Arten beeinflussen. Aufgrund der größeren Temperaturtoleranz der restlichen, meso-eurythermen Arten wird hier von keinem direkten Einfluß auf die Arten ausgegangen.

7.3 Erlau

Eine Referenzbiozönose für die Erlau ist nicht verfügbar. Aufgrund der Gewässermorphologie und Informationen der ansässigen Fischereivereine ist der untersuchte Bereich der Äschenregion zuzuordnen. Leitfischarten der Region sind Äsche, Aitel, Mühlkoppe, Gründling und Hasel. Aitel, Gründling und Hasel sind Vertreter der meso-eurytherm Fischarten und dementsprechend an einen breiten Temperaturbereich adaptiert. Äsche und Mühlkoppe werden als oligo-stenotherm eingestuft deren Optimumsbereich zwischen 4 und 18 °C bzw. 10 und 15 °C.

Die Auswertung der Loggerdaten zeigt eine geringfügige Erwärmung der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ausleitungskanal. Im August lag der mittlere Wert im Mittel knapp 1 °C über dem mittleren Temperaturwert des Ausleitungskanals. Hierbei wurden im August maximale Werte zwischen 19 und 23 °C erreicht. Die Maximalwerte überstiegen die Optimumsbereiche der beiden oligo-stenothermen Arten. Bei einer Fortsetzung dieser beobachteten Tendenz könnte sich das Gleichgewicht zu Gunsten der meso-eurythermen Arten verschieben. Die Zunahme der Schwankungen der Tagestemperaturamplituden innerhalb der Restwasserstrecke (4,8 °C) im Vergleich zu den Schwankungen innerhalb der Ausleitungsstrecke (2,3 °C) ist deutlich. Es ist von einem Einfluß auf empfindliche Arten auszugehen.

7.4 Fränkische Rezat

Die Fränkische Rezat ist mit den Leitfischarten der Referenzbiozönosen Barbe, Aitel, Gründling, Hasel, Nase, Rotaugen und Schmerle ebenfalls dem Rithral zuzuordnen. Alle Arten sind meso-eurytherm deren Optimumsbereich bei max. 28°C und min. 5°C liegt (Tabelle 4). Die mittleren Temperaturdaten der Logger innerhalb der Restwasserstrecke zeigen eine leichte Abkühlung in den Sommermonaten im Vergleich zu den Daten der Logger oberhalb bzw. unterhalb der Strecke. Im Oktober gab es nahezu keine Temperaturdifferenz zwischen den beiden Mitteln. In den Wintermonaten zeigte sich eine leichte Erhöhung der mittleren Temperaturwerte innerhalb der Restwasserstrecke im Vergleich zu den mittleren Temperaturen der beiden außerhalb platzierten Logger. Allerdings ist mit einer Beeinflussung der Fischbiozönose durch diese lediglich minimal festgestellten Temperaturdifferenzen nicht zu rechnen.

7.5 Fränkische Saale

Für die im Einzugsgebiet des Mains liegende Fränkische Saale sind Aal, Äsche, Bachforelle, Aitel, Mühlkoppe, Gründling, Hasel, Rotauge und Schmerle in der Referenzbiozönose als Leitarten angegeben. Aal, Aitel, Gründling, Hasel, Rotauge und Schmerle sind den meso-eurythermen und somit temperaturtolanteren Fischarten zuzuordnen. Äsche, Bachforelle und Mühlkoppe sind Vertreter der oligo-stenothermen Fische und sind demnach an einen engen Bereich niedriger Temperaturen angepaßt (Bachforelle: 4 bis 19 °C, Mühlkoppe: 10 bis 15 °C, Äsche: 4 bis 18 °C). Die während den Sommermonaten in der Restwasserstrecke gemessenen Temperaturen sind nahezu mit den erhobenen Meßwerten im Ausleitungskanal identisch. Lediglich eine minimale Tendenz der Erwärmung der Restwasserstrecke während der Wintermonate konnte festgestellt werden. Eine weitere Temperaturerhöhung im Winter könnte sich auf eine schnellere Entwicklung der Eier von Salmoniden auswirken. Allerdings ist aufgrund der geringfügigen Temperaturänderungen von keinem Effekt auf die Leitfischarten auszugehen.

7.6 Haidenaab

Die Haidenaab ist dem Hyporhithral (Äschenregion) zuzuordnen. Typische Leitfischarten sind Äsche, Barbe, Aitel, Mühlkoppe, Gründling, Hasel. Die meisten Vertreter sind meso-eurytherm und nicht besonders anspruchsvoll. Die Äsche wird allerdings als oligo-stenotherm eingestuft deren Optimumsbereich zwischen 4 und 18 °C liegt (Tabelle 4). Die Temperatur-Monats-Mittel der Restwasserstrecke im Vergleich zum Ausleitungskanal unterschieden sich in den Monaten August bis Oktober marginal. Allerdings ist zu bemerken, daß die im August gemessenen, Maximalwerte in beiden Strecken (Restwasserstrecke: bis 21,4 °C und Ausleitungskanal 20,6 °C) bereits oberhalb des Temperatur-Optimumsbereich der Äsche wie auch der Mühlkoppe liegen. Eine weitere Erhöhung der Temperatur könnte sich demnach negativ auf den Äschen- und Mühlkoppenbestand auswirken und andere, wärmeliebende Fischarten wie z.B. Aitel, Hasel und Barbe unterstützen. Zusätzlich konnte eine Zunahme der Schwankungen der Tagestemperaturamplituden innerhalb der Restwasserstrecke beobachtet werden, die empfindliche Arten zusätzlich beeinflussen könnten.

7.7 Halblech

Der Halblech ist dem Rithral zuzuordnen. Wie der überschaubaren Artenzahl der Referenzbiozönose für den Halblech zu entnehmen ist, sind hier die rheophilen Arten Mühlkoppe und Bachforelle die Leitarten. Die Lebensweise beider Arten wird als oligo-stenotherm bezeichnet, d.h. sie ist an einen engen Bereich niedriger Temperaturen angepaßt. In der Literatur wird der Optimumsbereich für adulte Bachforellen zwischen 4 und 19 °C und für die Koppe mit 10 bis 15 °C angegeben (Tabelle 4). Im Untersuchungszeitraum konnte in den Monaten August, September und Oktober eine geringfügige Erhöhung der Temperatur dokumentiert werden. Bei einer Fortsetzung dieses Trends in den kommenden Jahren und einer weiteren Erhöhung der Temperatur könnte sich diese insbesondere auf die Salmoniden-

Population auswirken, da die gemessenen Tagestemperaturmaxima bereits an die obere Grenze des Optimumsbereiches der Bachforelle grenzen. Die Temperaturschwankungen am Halblech sind in der Restwasserstrecke mit bis zu 4,0 °C im Mittel hoch, was einen zusätzlichen Streßfaktor darstellt. Allerdings ist der Wert auch im Hauptgewässer nur geringfügig niedriger.

8 Anmerkungen und Vorschläge

- Insgesamt ergeben sich die größten Unterschiede zwischen schnell und sehr langsam fließenden Restwasserstrecken. Eine detaillierte Betrachtung ausgewählter Beispiele wie z.B. der Erlau und der Fränkischen Rezat könnte die Unterschiede weiter herausarbeiten.
- Gleiches gilt für die Auswirkung der Beschattung der Restwasserstrecke. Hier wäre eine vertiefte Untersuchung z.B. der Erlau und Eger vielversprechend.
- In den schnell fließenden Restwasserstrecken ließen sich keine Unterschiede bezüglich flachen und tiefen Stellen feststellen. In den fast stehenden Restwasserstrecken deuteten sich allerdings Schichtungszustände an. Eventuell wäre hier eine Untersuchung eines Tiefenprofils in der Restwasserstrecke lohnenswert.
- Vor allem in Bezug auf klimatische Einflüsse ist der Untersuchungszeitraum zu kurz. Eine Konzentration auf ausgewählte Strecken, die dafür über einen längeren Zeitraum untersucht werden, wäre in Bezug auf die Fragestellung sinnvoller.

Literatur

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

Küttel, S., Peter, A., & Wüest, A. (2002). Temperaturpräferenzen und-limiten von Fischarten Schweizerischer Fließgewässer (No. EPFL-REPORT-187346).