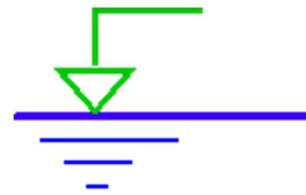




Bürogemeinschaft für fisch- und gewässerökologische Studien
Marburg – Frankfurt
Büro Marburg



Ingenieurbüro für Hydraulik
und Hydrometrie
Dr.- Ing. R. Hassinger

Dr. Dirk Hübner, Dipl. Biol. Roman Fricke, M. Sc. Jan-Philipp Kappner &
Dr. Reinhard Hassinger

**Einzelfallgutachten zur Ermittlung der Mindestwasserführung in der
Ausleitungsstrecke der Wasserkraftanlage Kirschhofen an der Lahn**

**als Bestandteil des wasserrechtlichen Antragsverfahrens: Bewilligung zum
Weiterbetrieb der Wasserkraftanlage Kirschhofen/Lahn**

im Auftrag der
ELIKRAFT AG
34582 Borken-Dillich

Marburg, Februar 2022



BFS Büro Marburg
Über dem Grund 1
D-35041 Marburg-Michelbach

☎ 06420-839118
✉ dirk-huebner@arcor.de

Inhalt

1	Anlass und Aufgabenstellung	1
2	Standortbeschreibung Wasserkraftanlage Kirschhofen	3
2.1	Lage der Wasserkraftanlage und Fischwanderwege	3
2.2	Messtechnische Ausstattung der WKA	4
2.3	Charakteristika des Standortes	5
2.3.1	Standortspezifische hydrologische Rahmenbedingungen	5
2.3.2	Charakteristika der Ausleitungsstrecke	6
2.3.3	Der Abfluss in der Ausleitungsstrecke	7
2.3.4	Regulation des Mindestabflusses durch die Ausleitungsstrecke	9
2.3.5	Auswirkungen plötzlicher Abflussschwankungen im Oberwasser	10
2.3.6	Zusammenhänge von Mindestabfluss, Stauziel und Stauwurzellage	11
2.3.7	Gesetzmäßigkeiten und Wirkung des Rückstaus aus dem Unterwasser	11
2.4	Regionaler Fischbestand	11
3	Anpassungsbedarf bezüglich der Ermittlung des Zieloberwasserpegels	13
4	Ökologische Zielkonflikte bei der Bestimmung eines optimalen Mindestwasserabflusses	16
5	Habitatangebot in Abhängigkeit von der Mindestwasserführung in der Ausleitungsstrecke	19
5.1	Vorbemerkung	19
5.2	Potential der Ausleitungsstrecke als Habitat	19
5.3	Veränderungen der Fischhabitats in der Ausleitungsstrecke in Abhängigkeit vom Abfluss	23
5.3.1	Datenerfassung	23
5.3.2	Höhenerfassung und Kontrolle des Abflusszustandes während der Messungen	25
5.3.3	Messung des Abflusses	26
5.3.4	Abflussszenario A (2 m ³ /s)	28
5.3.5	Abflussszenario B (4 m ³ /s)	32
5.3.6	Abflussszenario C (6 m ³ /s)	35
5.3.7	Zusammenfassung und Fazit	39
5.3.8	Fischbestände im Unterwasser des Ausleitungswehres der WKA Kirschhofen	41
5.3.9	Mollusken	48
5.4	Hydrologische Auswirkungen der Wasserführung auf das Habitatangebot für rheophile Fischarten im Oberwasser	51
6	Durchgängigkeit der WKA in Abhängigkeit von der Mindestwasserführung	52
6.1	Durchgängigkeit der WKA für aufwandernde Fische	52
6.2	Durchgängigkeit der WKA für abwärts wandernde Fische	59
7	Lebensraumstabilität der Ausleitungsstrecke	61
7.1	Auswirkungen der Veränderungen des Betriebszustands bei geringen Lahnabflüssen	61
7.2	Andere Änderungen des Betriebszustands	67
7.3	Auswirkungen starker Oberwasserspiegelschwankungen	67
8	Synthese	69
8.1	Zielkonflikte	69

8.2	Themenkomplex „Habitatangebot“	69
8.3	Themenkomplex „Durchgängigkeit“	70
8.4	Themenkomplex „Lebensraumstabilität“	71
8.5	Kontrolle der Abflusszustände	71
8.6	Fazit – Mindestabflussempfehlung in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen	72
9	Quellennachweise	73
10	Anhang.....	75
10.1	Querprofilmessungen.....	75
10.2	Befischungsergebnisse	92

1 Anlass und Aufgabenstellung

Die Betriebsgenehmigung der Wasserkraftanlage (WKA) in Kirschhofen an der Lahn lief zum 31.12.2020 aus, derzeit gilt eine Übergangsregelung. Es ist seitens der bisherigen Betreiberin, der Elikraft AG (Borken), geplant, die Wasserkraftnutzung weiter zu führen. Daher wurde ein Antrag auf eine wasserrechtliche Neuzulassung zum Weiterbetrieb der bestehenden WKA gestellt.

Im Rahmen der Prüfung zur Neuzulassung werden die derzeit gültigen rechtlichen Vorgaben geprüft, darunter auch die 2016 überarbeitete „Regelung zur Ermittlung der Mindestwasserführung in Ausleitungsstrecken hessischer Fließgewässer“ (im Folgenden „Mindestwassererlass“, HMUKLV 2017). Seitens der Genehmigungsbehörde wurde eine pauschale Berechnung zur Ermittlung des Mindestabflusses durchgeführt, welche die Kriterien aus Ziffer 1.1. und in der Folge Ziffern 1.3 und 1.5 des o.g. Erlasses berücksichtigte (RP Gießen, 2019). Der Mindestwassererlass räumt jedoch auch eine alternative Form der Ermittlung der Mindestwasserführung in der Ausleitungsstrecke in Form eines Einzelgutachtens (Ziffer 1.6) ein. Es sind dabei auch die „Empfehlungen zur Ermittlung von Mindestabflüssen in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen“ der LAWA (2001) für den Biotop-Abfluss-Ansatz (einschließlich der Empfehlungen für die Anwendung des ökohydrologischen Ansatzes) zu beachten.

An der Wasserkraftanlage Kirschhofen besteht eine Sondersituation darin,

- dass die beiden für Fischaufstiege unpassierbaren Wehranlagen, die Ausleitungsstrecke und das direkte Umland dieser Ausleitungsstrecke in den Verantwortungsbereich des Wasserstraßen- und Schifffahrtsamts Mosel-Saar-Lahn fallen und für die Antragstellerin keinerlei Gestaltungsmöglichkeit besteht, eine aufwärtsgerichtete Durchgängigkeit der Ausleitungsstrecke zu bewirken,
- dass die zu dotierende Restabflussstrecke nicht aufwärts fischdurchgängig ist und sich somit bezüglich des Mindestabflusses ökologische Zielkonflikte ergeben, unter anderem, da ein höherer Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke zwar deren Habitatsignung für rheophile (strömungsliebende) Fischarten verbessert, die Ausleitungsstrecke gleichzeitig aber auch eine „Sackgasse“ für aufstiegswillige Fische darstellt, und
- dass erhöhte Abflüsse aus der Restabflussstrecke für den am Kraftwerk befindlichen Fischaufstieg potentiell eine Konkurrenzströmung darstellen und hohe Restabflüsse somit kontraproduktiv wirken könnten.

Solche komplexen Zusammenhänge können in einer pauschalen Mindestabflussberechnung nicht berücksichtigt werden. Daher wurde gemeinsam mit der zuständigen Behörde

entschieden, dass ein Einzelgutachten zur Ermittlung der Mindestwasserführung erforderlich ist.

Das vorliegende Einzelgutachten zur Ermittlung der Mindestwasserführung in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen an der Lahn orientiert sich zwar an jenen Kriterien, welche in Ziffer 1.6 des Mindestwassererlasses festgelegt sind, allerdings wurden in Absprache mit der Genehmigungsbehörde zusätzliche Aspekte einbezogen, da im Mindestwassererlass grundsätzlich von einer Durchgängigkeit der Ausleitungsstrecke ausgegangen wird. Neben der Auswertung von bei unterschiedlichen Abflüssen örtlich gemessenen Parametern (wie unter Ziffer 1.6 des Mindestwassererlasses vorgesehen) gingen auch Auswertungen historischer Abflussdaten, das Potential der Ausleitungsstrecke hinsichtlich ihrer Habitatqualität für relevante rheophile Fischarten, saisonale Reproduktions- und Wanderphasen der Fischfauna, hydrologische Wechselwirkungen der einzelnen Abschnitte und reale betriebsbedingte Restriktionen am Standort (z.B. die Kapazitätsober- und -untergrenzen der Turbinen) in die Beurteilung mit ein. Die Ergebnisse wurden darüber hinaus in einen Kontext mit der lokal vorhandenen Fischfauna gesetzt und besonderes Augenmerk auf den Einfluss des Mindestwassers auf die Durchgängigkeit der WKA gelegt.

2 Standortbeschreibung Wasserkraftanlage Kirschhofen

2.1 Lage der Wasserkraftanlage und Fischwanderwege

Die Wasserkraftanlage (WKA) liegt auf einer für die Bundeswasserstraße Lahn geschaffenen Insel bei Flusskilometer 92,1 am südlichen Ortsrand der Ortschaft Weilburg-Kirschhofen. Die Anlage befindet sich in Fließrichtung der Lahn auf der rechten Seite der Insel, gemeinsam mit der Schleuse, welche rechtsseitig neben der Wasserkraftanlage liegt (Abb. 1).

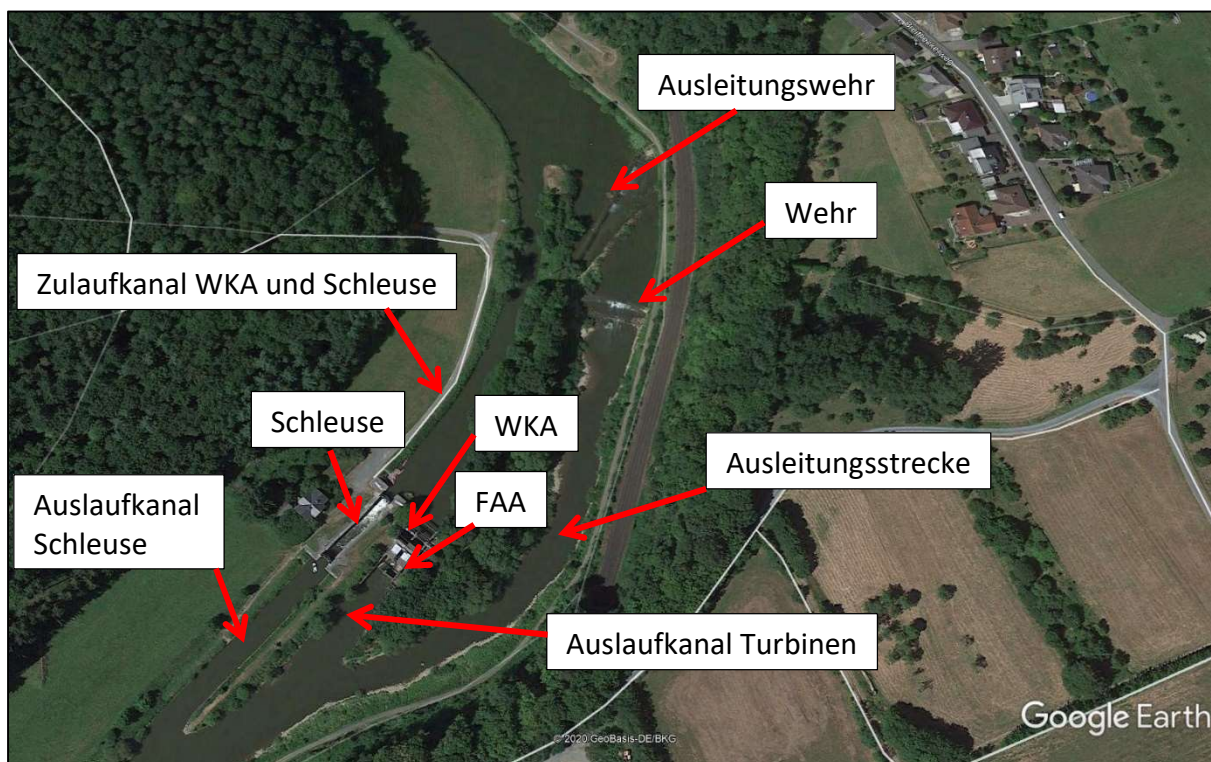


Abb. 1: Luftbildausschnitt Standort WKA Kirschhofen mit Fischwanderwegen (Quelle: Google Earth).

Der Zulaufkanal zu Wasserkraftwerk und Schleuse auf der rechten Seite der Insel ist ca. 200 m lang und 19-30 m breit. Linksseitig der Insel befindet sich das Ausleitungswehr für die Schleuse, dem ein zweites Wehr folgt, um die Fallhöhe in zwei kleinen Stufen abzubauen. Das obere Wehr bewirkt gleichzeitig auch den Einstau für die Wasserkraftanlage. Es ist schräg zur Fließrichtung gebaut (Streichwehr) und hat daher eine Länge von ca. 94 m. Dagegen ist die Lahn oberhalb der Insel im Aufstaubereich des Wehres schmaler und nur ca. 50 m breit. Unterhalb des Ausleitungswehres befindet sich, in einem Abstand von ca. 60 m, das untere Wehr in der Ausleitungsstrecke. Dieses hat eine Breite von ca. 35 m. Daran anschließend folgt die ca. 240 m lange und ca. 25-30 m breite Ausleitungsstrecke auf der linken Seite der Insel, die an der Spitze der Insel mit dem ca. 45 m langen Auslaufkanal der Kraftwerksturbinen zusammenfließt. Nach Zusammenfluss von Ausleitungsstrecke und Auslaufkanal der Turbinen hat die Lahn eine Breite von ca. 24 m, bevor sie nach weiteren 60 m mit dem Auslaufkanal der Schleuse zusammenfließt und schließlich eine Gewässerbite von ca. 30 m aufweist.

Die für den Fischaufstieg notwendige Anlage befindet sich innerhalb des Turbinenkanals auf der linken Seite. Flussaufwärts wandernde Fische müssen daher zuerst am Unterwasserkanal

der Schleuse vorbeischwimmen und nach weiteren 60 m auch die Einmündung der Ausleitungsstrecke in den Turbinenauslaufkanal passieren, bevor sie die Fischaufstiegsanlage (FAA) erreichen. Damit die Auffindbarkeit der FAA für die Fische gewährleistet ist, muss für die Fische an den jeweiligen Kreuzungspunkten dementsprechend eine Leitströmung zur Anlage wahrnehmbar sein (s. u.).

Die Situation für den Fischabstieg ist am Standort derzeit suboptimal. Derzeit können Fische dauerhaft primär über beide Wehrkronen flussabwärts wandern, allerdings ist dieser Wanderweg wenig funktional, da bei moderaten Lahnabflüssen und laufendem Anlagenbetrieb die Hauptströmung an den Wehren vorbei in den Turbinenkanal führt. Entsprechend ist die Wehranlage als abwärts unpassierbar klassifiziert (HLNUG). Weitere Abstiegswege von zu vernachlässigender Bedeutung sind der Borstenfischpass, die Schleuse und der Freischuss (während der Rechenreinigung). Im Zuge der erneuten Beantragung der Betriebsgenehmigung sind zwei zusätzliche hochfunktionale Abstiegswege geplant. Zum einen soll ein permanenter Fischabstieg für oberflächennah wandernde Fischarten an der WKA in Form eines mittig oberhalb der Kraftwerksrechen gelegenen Abstiegskanals installiert werden. Zum anderen ist ein sogenanntes „Aalrohr“ oder „Zick-Zack-Rohr“ mit Anschluss an den Borstenpass geplant, welches am Grund vor den Kraftwerksrechen eingebaut werden soll und vor allem Aalen, aber auch grundnah wandernden Fischarten einen Abstieg ermöglicht.

2.2 Messtechnische Ausstattung der WKA

Die Wasserkraftanlage Kirschhofen besitzt folgende Wasserstandssensoren:

Im Oberwasser:

- Drucksonde 1 an der Spitze der Insel, also im direkten Oberwasser des oberen Wehres
- Drucksonde 2 im direkten Oberwasser der WKA

Im Unterwasser:

- Drucksonde 3 im Unterwasser

Nach einer Umstellung der Software im Jahr 2021 zeigt die Anlage nun Werte im Millimeterbereich an, was sowohl die Anzeigen und Eingabemöglichkeiten als auch die Turbinenregelung betrifft. Die Turbinenregelung kann wahlweise von den Messwerten der Sonde 1 oder 2 abhängig gemacht werden, seit der Umstellung der Software erfolgt die Steuerung probeweise über Drucksonde 1.

Für die Untersuchungen in der Restabflussstrecke wurden folgende Messgeräte zusätzlich temporär aufgebaut:

- Stechpegelhalterung mit passender Konsole im Oberwasser des oberen Wehres
- Halterung für Ultraschallsensor im direkten Oberwasser der WKA

Beide Messpunkte wurden mehrfach mit Nivellements aufgemessen. Es wurden dort ein Stechpegel sowie eine Ultraschall-Echolotanlage eingesetzt. Insbesondere der Stechpegel

oberstrom des Wehres erlaubte Wasserstandsmessungen als Einzelmessungen mit einer Unsicherheit von 1/10 mm. Allerdings ist dazu zu erwähnen, dass in diesen Einzelablesungen kurzfristige Schwankungen des OW-Standes sichtbar wurden, welche mehrere mm betragen.

2.3 Charakteristika des Standortes

2.3.1 Standortspezifische hydrologische Rahmenbedingungen

Für den Abfluss der Lahn am Standort der WKA Kirschhofen ist im langjährigen Mittel ein MQ von $40,5 \text{ m}^3/\text{s}$ anzunehmen (Zeitspanne von 1937 bis 2017, Abflüsse Pegel Leun multipliziert mit Faktor 1,25; Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch 2017). Allerdings ist in jüngerer Vergangenheit, vermutlich aufgrund des globalen Wandels, eine abnehmende Tendenz in den jährlichen MQ festzustellen, wie sich von 2008 bis 2017 zeigen lässt (Abb. 2).

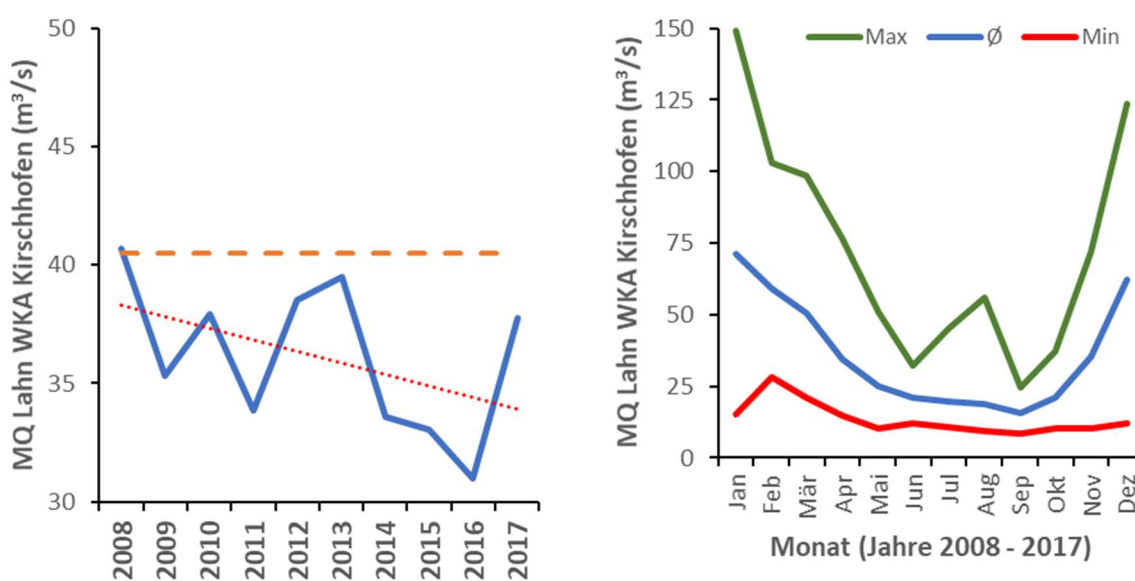


Abb. 2: Lahnabflüsse am Standort der WKA Kirschhofen 2008 – 2017. Links: jährlicher MQ (gestrichelte Linie: langjähriger MQ; gepunktete Linie: linearer Trend). Rechts: monatliche MQ.

In diesem Zeitraum lag das durchschnittliche MQ mit $36,1 \text{ m}^3/\text{s}$ etwa 10,9 % unter dem langjährigen Durchschnitt, bei weiter fallender Tendenz. Durchschnittlich waren in dieser Periode die geringsten Monatsabflüsse im September ($15,8 \text{ m}^3/\text{s}$) aufgetreten, auch im Oktober ($20,9 \text{ m}^3/\text{s}$) und November ($35,6 \text{ m}^3/\text{s}$) lagen die Monatsabflüsse noch unter (bzw. nahe dem) jährlichen MQ (blaue Linie in Abb. 2, rechts). Von Dezember ($62,3 \text{ m}^3/\text{s}$) bis März ($50,8 \text{ m}^3/\text{s}$) folgte durchschnittlich eine Periode mit Abflüssen, die über dem jährlichen MQ lagen, wobei der Januar insgesamt der abflussstärkste Monat ($71,1 \text{ m}^3/\text{s}$) war. Von April ($34,5 \text{ m}^3/\text{s}$) bis September fielen die durchschnittlichen Monatsabflüsse wieder sukzessive. Allerdings zeigten sich in der betrachteten Periode auch erhebliche Schwankungen in den monatlichen MQ zwischen den Jahren. Es konnte im betrachteten 10jährigen Zeitraum in jedem Monat eine Niedrigwasserphase auftreten, in welcher der Monats-MQ kleiner als 60 % des Durchschnittswerts war, in extremen Fällen sogar unter 20 % ($12,0 \text{ m}^3/\text{s}$ im Dezember 2016). Im Allgemeinen wird das jährliche Abflussgeschehen jedoch von höheren

Winterabflüssen geprägt, deren (sehr unterschiedlich stark ausgeprägte) Spitzenwerte in der Zeitspanne von November bis März zu erwarten sind, und gelegentlich auftretenden, geringer ausgeprägten Sommerhochwässern (Jahr 2012, 2017).

2.3.2 Charakteristika der Ausleitungsstrecke

Der Einstau der Lahn erfolgt am Standort der WKA Kirschhofen über ein Ausleitungswehr (Abb. 3), das stellenweise unterläufig ist. Der Abfluss in die Ausleitungsstrecke erfolgt somit überwiegend über die Wehrkrone, teilweise durch den Wehrkörper hindurch. Hinter dem Ausleitungswehr ist kein Tosbecken ausgeprägt, es gibt keine spezifische Struktur für einen Fischeaufstieg. Die Energieumwandlung erfolgt über verteilt liegende große Steine, die als Störsteine wirken. Ein weiterer Höhenabbau wird mit dem zweiten Wehr innerhalb der Ausleitungsstrecke erreicht, welches nahe dem Ausleitungswehr gelegen ist und ebenfalls weder ein ausgeprägtes Tosbecken noch Strukturen für einen erleichterten Fischeaufstieg aufweist. Im Gegensatz zum Ausleitungswehr ist im unteren Wehr etwa mittig ein Durchflussrohr enthalten, welches auch dann einen weiteren Abfluss in die Ausleitungsstrecke bewirkt, wenn der Wasserspiegel zwischen den Wehren unter das Niveau der Wehrkrone des unteren Wehres fällt. Die Doppelwehranlage ist vom Hessischen Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) in Gänze als „unpassierbar“, sowohl für aufwandernde als auch für abwärts wandernde Fische, klassifiziert.



Abb. 3: Übersicht über die Wasserwege am Standort Kirschhofen. Links: Luftbild (Quelle: HLNUG WRRL-Viewer, 2021). Rechts: Doppelwehranlage.

Direkt unterhalb des zweiten Wehres liegt ein Steinriegel (Abb. 4) mit passierbaren Lücken. Dort erreicht das Gewässerbett der eigentlichen Ausleitungsstrecke (ohne den Bereich zwischen den Wehren) seinen weitesten Querschnitt, es ist flach und weist ein merkbares Gefälle auf. Bei Normalbetrieb der WKA unter Niedrigwasserbedingungen (Abfluss < MQ) hat der Abfluss in diesem Bereich einen deutlich fließenden Charakter (Abb. 4). Im Randbereich des Gleithanges (rechtes Ufer entlang der Insel) befindet sich eine Kiesbank.



Abb. 4: Ausleitungsstrecke unterhalb des unteren Wehrs. Links: Übersicht mit Eindruck der Kiesbank im Gleithang. Rechts: Flach überströmter Bereich direkt unterhalb des Wehres.

Im weiteren Verlauf fließt die Ausleitungsstrecke in einer weiten Rechtskurve, der Querschnitt des Gewässerbetts verjüngt sich, die Wassertiefe nimmt zu und die Fließgeschwindigkeit ab (Abb. 5). Insbesondere am Prallhang (linke Uferseite) ist das steile Ufer durchgängig mit Steinschüttung befestigt. Im unteren Teil der Ausleitungsstrecke besteht ein deutlich sichtbarer Rückstau aus dem Unterwasser, dessen Ausprägung vom Unterwasserpegel und damit vom Gesamtabfluss der Lahn abhängt.



Abb. 5: Unterer Bereich der Ausleitungsstrecke. Links: Schmales, tiefes Gewässerbett in langgezogener Rechtskurve (flussaufwärts fotografiert). Rechts: Zusammenfluss mit Turbinenkanal.

2.3.3 Der Abfluss in der Ausleitungsstrecke

Innerhalb eines bestimmten Korridors in den Lahnabflüssen verbleibt in der Ausleitungsstrecke lediglich der behördlich vorgeschriebene Mindestabfluss. Ober- und unterhalb bestimmter Schwellenwerte beeinflusst die Abflusssituation der Lahn jedoch auch den Abfluss in der Ausleitungsstrecke. Diese Schwellenwerte lagen unter den Rahmenbedingungen der abgelaufenen Betriebsgenehmigung rechnerisch bei $7,21 \text{ m}^3/\text{s}$ und $39,21 \text{ m}^3/\text{s}$: bei einem Lahnabfluss unterhalb von $7,21 \text{ m}^3/\text{s}$ setzte eine automatische Änderung des Betriebszustands der Anlage ein, da der notwendige Mindestdurchfluss durch

die Turbine für einen stabilen Anlagenbetrieb (\sim ca. $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$) unterschritten wurde (die FAA musste mit $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ dotiert werden, und der Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke betrug $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei Abschaltung der WKA fließt nahezu der gesamte Lahnabfluss (abzüglich der Dotation der FAA) durch die Ausleitungsstrecke. Überstieg der Lahnabfluss $39,21 \text{ m}^3/\text{s}$, wurde das maximale Schluckvermögen der WKA von $38,0 \text{ m}^3/\text{s}$ überschritten und die Abflüsse, die darüber hinaus gingen, wurden zusätzlich zum Mindestabfluss von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ über die Ausleitungsstrecke abgeleitet. Bei sehr hohen Lahnabflüssen (ca. 400 cm Pegelstand in Leun $\sim > 124 \text{ m}^3/\text{s}$, Auskunft ELIKRAFT AG Herr Holler) ist der Rückstau durch einen hohen Wasserstand im Unterwasser der WKA so hoch, dass kein ausreichendes Gefälle für einen Betrieb der WKA mehr besteht und diese infolgedessen ausgeschaltet wird. Dies geschieht bei Hochwassersituationen situationsabhängig auch schon bei geringeren Lahnabflüssen manuell, um Schäden durch Treibgut zu vermeiden. Ausgeprägte Hochwässer werden also nahezu vollständig (abzüglich Dotation der FAA) über die Ausleitungsstrecke abgeführt.

Um eine Einschätzung der tatsächlichen saisonalen Abflussverhältnisse in der Ausleitungsstrecke zu treffen, wurden die Tagesabflüsse der Kalenderjahre 2008 bis 2017 für eine Rückrechnung herangezogen (Abb. 6, links). Bei der Berechnung wurde kein Abschalten der WKA bei sehr hohen Abflüssen eingerechnet. Gerade in den Wintermonaten werden somit die MQ in der Ausleitungsstrecke unterschätzt.

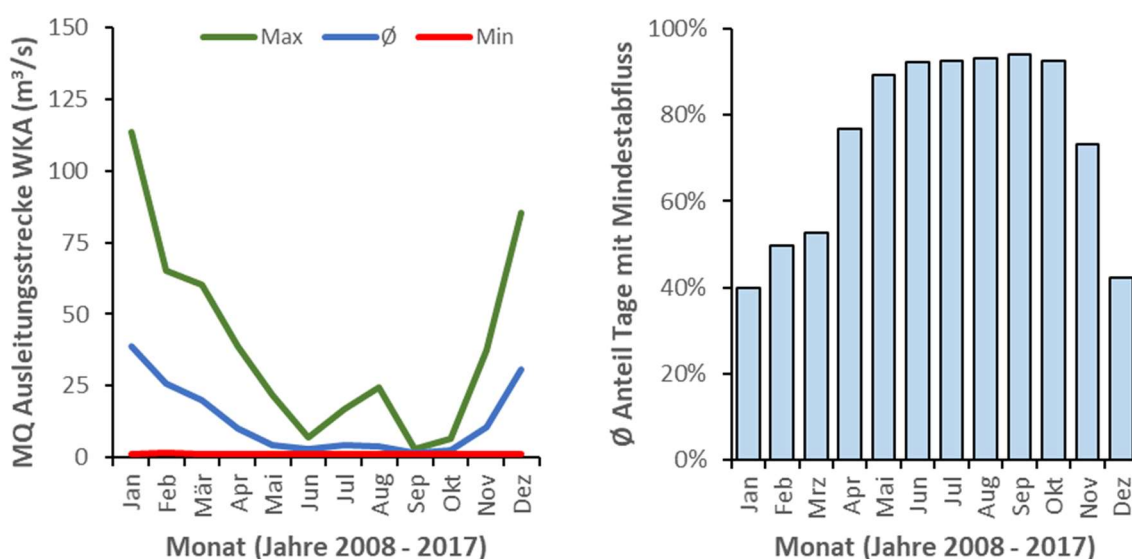


Abb. 6: Errechnete Abflussdynamik in der Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen (Zeitraum 2008 – 2017; Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch). Links: monatlicher MQ der Ausleitungsstrecke. Rechts: durchschnittlicher monatlicher Anteil an Tagen mit Mindestabfluss ($1,0 \text{ m}^3/\text{s}$) in der Ausleitungsstrecke.

Es zeigte sich, dass der rechnerische durchschnittliche MQ in der Ausleitungsstrecke durchgängig meist deutlich oberhalb des Mindestabflusses von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ lag. Die höchsten durchschnittlichen MQ wurden erwartungsgemäß für Dezember ($30,7 \text{ m}^3/\text{s}$) und v.a. Januar ($38,7 \text{ m}^3/\text{s}$) errechnet. Von Februar ($25,4 \text{ m}^3/\text{s}$) bis Juni ($2,5 \text{ m}^3/\text{s}$) fiel der durchschnittliche

MQ sukzessive, während im Juli (4,1 m³/s) und August (3,4 m³/s) aufgrund vereinzelter Sommerhochwässer wieder höhere Durchschnittswerte erreicht wurden. Das geringste durchschnittliche MQ trat im September auf (1,2 m³/s) und lag damit immer noch 24,4 % über dem Mindestabfluss (in diesem Fall beeinflusst durch Abschaltungen der WKA infolge zu geringer Lahnabflüsse, s.o.). Im Oktober (2,0 m³/s) und November (10,2 m³/s) stieg der MQ wieder an. Dennoch ist der tatsächliche Abfluss in der Ausleitungsstrecke stark von der Höhe des Mindestabflusses geprägt. Im Zeitraum von 2008 bis 2017 floss an 74,0 % der Tage rechnerisch lediglich der Mindestabfluss durch die Ausleitungsstrecke; vor allem in den Monaten Mai bis Oktober war dies an > 89 % der Tage der Fall. Von Dezember bis März entsprach der Abfluss in der Ausleitungsstrecke hingegen bei nur etwa der Hälfte der Tage (40 bis 52 %) der Menge des Mindestabflusses.

2.3.4 Regulation des Mindestabflusses durch die Ausleitungsstrecke

Zunächst ist grundsätzlich zu erwähnen, dass die Abflusskurve (Q-h-Linie) eines so breiten Wehres sehr flach verläuft, was die Konsequenz hat, dass schon Änderungen am Oberwasserstand von wenigen Millimetern zu starken relativen Abflussänderungen führen. Da die aus hydraulischer Sicht prinzipiell bessere Dotation der Restabflussstrecke durch eine Schützanlage ausscheidet, wird der Abfluss über eine Einstellung der Überfallhöhe im mm-Bereich kontrolliert. Allerdings ist eine derart präzise Einhaltung der Überfallhöhe unter Realbedingungen technisch schwer erreichbar (pers. Kommunikation Herr Holler, ELIKRAFT AG). Zusätzlich zu natürlichen Schwankungen ist der Oberwasserstand teilweise massiven Einflüssen, wie Schwall und Sunk (s.u.), unterworfen. Zudem liegen die Unsicherheiten bei der Wasserstandsmessung in einer Größenordnung, die mit einer Unsicherheit des Abflusses von mehreren hundert l/s verbunden sind.

Derzeit erfolgt die Sicherstellung des Mindestabflusses dadurch, dass ein bestimmter Oberwasserspiegel festgelegt wird, über dessen relative Höhe zur Wehrkrone (Überfallhöhe) der Abfluss über das Wehr und damit der Zufluss in die Ausleitungsstrecke bestimmt wird. Dies wird über die Parametrierung der Turbinensteuerung geregelt, die nach einer Umstellung in der Software nun auf den mm genau vorgegeben werden kann. Entsprechend bleibt der Oberwasserspiegel lediglich in solchen Abflusssituationen weitgehend konstant, in denen die WKA in Betrieb ist und die Turbinenregelung über OW-Höhen am Wehr aktiv. Im Rahmen der abgelaufenen Betriebsgenehmigung wurde ein Stauziel von 126,77 m NN am Turbineneinlauf bestimmt (Strom- und schiffahrtspolizeiliche Genehmigung Nr. 2129/89, Wasser- und Schifffahrtsamt Koblenz 1989). Bei einer angenommenen Höhe der Wehrkrone in Höhe von 126,74 m NN (BJÖRSEN 1991) wurde offenbar erwartet, dass so eine ausreichende Dotation der Ausleitungsstrecke für den Mindestabfluss von 1,0 m³/s erreicht wurde. Seit 2012 wird jedoch in Abstimmung mit der Behörde ein Stauziel von 126,80 m NN) eingestellt. Bei den genannten Höhen ist zu beachten, dass Höhenangaben im derzeit maßgebenden NHN-System (Normalhöhennull) um genau 5 mm kleiner sind. Das heißt, dass die Nullebene im NHN-System um 5 mm höher liegt als die Nullebene im NN-System.

2.3.5 Auswirkungen plötzlicher Abflussschwankungen im Oberwasser

Eine Turbinenregelung weist bei der Einstellung des Stauziels stets eine gewisse Trägheit auf, welche jedoch in der Regel ausreicht, um Abflussschwankungen in natürlichem Ausmaß auszugleichen. Bei sehr kurzfristigen Abflussänderungen, die in der Regel anthropogenen Ursprungs sind (z.B. Schleusennutzung am Standort oder im Oberwasser, Änderungen im Betriebszustand von WKA im Oberwasser, Spülvorgänge über Freischuss bei WKA im Oberwasser, ggf. illegaler Schwall/Sunk-Betrieb von WKA im Oberwasser), kann diese regulatorische Trägheit zu deutlichen Abflussschwankungen in der Ausleitungsstrecke führen, die auch zum kurzfristigen Trockenfallen des Ausleitungswehres führen können. Dies konnte im Rahmen von Ortsterminen eindrucksvoll beobachtet werden konnte (Abb. 7, 8). Solcherlei Schwankungen, für die nicht der Betrieb der WKA am Standort selbst ursächlich war (s.o.), wurden am 21.04.2021 mehrmals beobachtet.



Abb. 7: Abflusssituationen am unteren Wehr in der Ausleitungsstrecke während einer Oberwasserschwankung am 21.04.2021. Links: 12:00 h. Rechts: 12:59 h.



Abb. 8: Auswirkungen von Oberwasserschwankungen auf die Ausleitungsstrecke (21.04.2021). Links: Abflusssituation am Ausleitungswehr um 11:56 h (Vergleich s. Abb. 3 rechts um 12:44 h). Rechts: Deutliche erkennbare Wasserspiegelschwankungen in der Ausleitungsstrecke.

Der Betrieb der Schleuse, deren Kanal sich rechtsseitig der WKA befindet, bewirkt ebenfalls (in geringerem Ausmaß) kurzfristige Schwankungen des Oberwasserspiegels (und damit des

Abflusses in der Ausleitungsstrecke), die von der Turbinensteuerung mit einem gewissen Zeitverzug ausreguliert werden.

2.3.6 Zusammenhänge von Mindestabfluss, Stauziel und Stauwurzellage

Der Einstau der Lahn am Ausleitungswehr bewirkt eine Anhebung des Wasserstandes im Oberwasser und eine Rückstauwirkung auf den flussaufwärts gelegenen Lahnabschnitt, die mit einer Absenkung der dortigen Fließgeschwindigkeit einhergeht. Das Ausmaß dieser Auswirkungen ist vor allem abhängig von der Einstauhöhe, dem Gefälle der Lahn im Oberwasser und vom Lahnabfluss. Je höher das Stauziel liegt, desto weiter wirkt der Rückstau. In gleicher Weise wirken sich ein höherer Lahnabfluss und ein geringeres Gefälle aus. Das Längsgefälle der Lahn wird laut Erläuterungsbericht der Elikraft AG im Oberwasser der WKA mit 0,33 ‰ angenommen (im Unterwasser mit 0,46 ‰).

Bei einer Regulierung des Mindestabflusses über die Einstauhöhe (s.o.) bewirkt also eine Erhöhung des Zielmindestabflusses in der Ausleitungsstrecke eine Verlängerung der Staulänge im Oberwasser. Derzeit wird die Länge des Aufstaus für das Ausleitungswehr der WKA Kirschhofen mit 1.100 m angegeben (FIS Wanda), dieser Wert wurde im Rahmen einer Kartierung im Jahr 2015 mit Feldmethoden bei einem Lahnabfluss unter MQ geschätzt (Mikus, Regierungspräsidium Gießen, mündl. Mitteilung). Es muss dabei angenommen werden, dass während dieser Abschätzung das angenommene Stauziel zur Erreichung des damals geforderten Mindestabflusses von 1,0 m³/s eingestellt war.

2.3.7 Gesetzmäßigkeiten und Wirkung des Rückstaus aus dem Unterwasser

Der Unterwasserstand an der WKA wird bestimmt durch die Gesamtheit der Rückstau- und Reibungseinflüsse von der nächsten Anlage in Furfurt und aus dem Gerinne. Es ist ein Charakteristikum von strömend durchflossenen Gerinneabschnitten, dass deren hydraulische Parameter von unten her bestimmt sind. Somit ist der Unterwasserstand von der Gesamtwasserführung der Lahn abhängig, die durch eine Unterwasser-Q-h-Linie beschrieben wird. In Abhängigkeit von diesem Unterwasserstand wirkt dieser als untere Randbedingung für eine Staulinie, die weit in die Restabflussstrecke hinein reicht. Aufgrund des geringen Gefälles und eines, verglichen mit den Wasserständen eines freien Abflusses, hohen Rückstauniveaus sind nur kurze Abschnitte unterhalb des zweiten Wehres von diesem Rückstau nicht beeinflusst.

Der durch Rückstau vergrößerte durchflossene Querschnitt führt zu einer Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit. Wegen der großen Querschnitte liegt diese für Mindestabflüsse voraussichtlich im Bereich von wenigen cm/s.

2.4 Regionaler Fischbestand

Die mittlere Lahn gehört aufgrund ihres Gefälles von durchschnittlich 0,061 ‰ und ihrer Gewässerbreite zur Barbenregion (Epi-Potamal) (Huet 1949, 1962). Die Barbenregion ist natürlicherweise geprägt von einem Wechsel schnellfließender, flacher Abschnitte mit tiefer

durchströmten Bereichen und einem, je nach Gefälle und Untergrund, teilweise verzweigtem Verlauf mit vielen Kies- und Sandbänken, sowie Altarmen, die nur zeitweise durchströmt werden. Die Fischgemeinschaft der Barbenregion ist natürlicherweise (vergl. Referenzzönose 9.2 A zum fischbasierten Bewertungssystem im Rahmen der WRRL, Dußling 2009) von rheophilen (strömungsliebenden) Fischarten dominiert. Die Leitarten, neben der namensgebenden Flussbarbe (*Barbus barbus*), sind Schneider (*Alburnoides bipunctatus*), Nase (*Chondrostoma nasus*), Rotaugen (*Rutilus rutilus*), Hasel (*Leuciscus leuciscus*), Döbel (*Squalius cephalus*) und Gründling (*Gobio gobio*).

Die Strömungsgeschwindigkeit in der mittleren und unteren Lahn ist durch die vielen Staustufen deutlich verringert, und die Wassertiefen sind stark erhöht. Dies führt zu einer Degradierung der vorherrschenden Fischlebensgemeinschaft. Derzeit profitieren diejenigen Fischarten vom gegenwärtigen Ausbauzustand des Gewässers, die sich indifferent gegenüber der Strömung verhalten, wohingegen die flusstypischen strömungsliebenden Arten nur noch in stark reduzierter Populationsstärke vorkommen (Stichwort „Potamalisierung der Barbenregion“). Längere Fließstrecken, in denen sich die strömungsliebenden Arten erfolgreich reproduzieren können, sind in der mittleren und unteren Lahn nur noch selten vorhanden. Ein naturnaher Fließcharakter der Lahn in der Barbenregion beschränkt sich lediglich auf die Fließstrecken zwischen den Staustufen.

Mit der Begradigung der Lahn und dem Ausbau von einem Mehrbett- auf ein Einbettgerinne war auch ein fast vollständiger Verlust von Kiesinseln und Nebenarmen verbunden. Zudem mangelt es in der Lahn durch den Bau von Uferbefestigungen an flachen Ufern mit kiesigem Substrat. Dadurch sind die typischen kieslaichenden Fischarten der Barbenregion, wie Barbe, Nase, Hasel und Äsche in der Lahn im Vergleich zum natürlichen Zustand stark unterrepräsentiert. Infolge des Ausbaus besteht ein Defizit an wesentlichen Schlüsselhabitaten für die Fortpflanzung und den Aufwuchs der Jungfische dieser Arten.

Der Standort der Wasserkraftanlage Kirschhofen ist eingebettet in eine Abfolge mehrerer Staustufen, an deren Wehren Wasserkraftnutzung stattfindet (Löhnberg, Weilburg, Kirschhofen, Furfurt). Dabei hat die Staustrecke des Wehres von Kirschhofen eine Länge von ca. 1,1 km (Regierungspräsidium Gießen, 2019). Die Fließstrecke unterhalb der Wasserkraftanlage Kirschhofen bis zur Stauwurzel des Wehres in Furfurt gehört mit ca. 4,1 km zu den längeren fließenden Abschnitten in der mittleren Lahn. Daher kommt die Barbe unterhalb der Wasserkraftanlage Kirschhofen regelmäßig vor, und seit dem Jahr 2010 ist dort die zunehmende Etablierung einer Population von Nasen festzustellen.

3 Anpassungsbedarf bezüglich der Ermittlung des Zieloberwasserpegels

In Bezug auf alle nachstehenden Höhenangaben ist den folgenden Ausführungen voranzustellen, dass der Höhenunterschied zwischen dem früher verwendeten NN-System (Normal-Null Amsterdamer Pegel) und dem heute maßgebenden NHN-System (Normalhöhen-Null) 5 mm beträgt, wobei im Lahngbiet das Normalhöhen-Null um 5 mm über NN liegt. Höhenangaben in NHN sind damit um 5 mm kleiner, als die NN-Höhen für diesen Punkt waren. Als Ausgangshöhe und Beispiel dient hier der Höhenbolzen am ehemaligen Schleusenwärterhaus, dessen Höhe mit 130,463 m+NN bzw. 130,458 mNHN angegeben ist.

Zur Einstellung des passenden Oberwasserspiegels zur Sicherstellung des Mindestabflusses in die Ausleitungsstrecke wurde seinerzeit im Rahmen der abgelaufenen Betriebsgenehmigung gemeinsam mit der zuständigen Behörde das Stauziel festgelegt, welches zur Erreichung eines Wehrüberfalls von 1,0 m³/s führen sollte. Dies lag bei einem Oberwasserspiegel von 126,77 m NN. Eine Grundlage dieser Festlegung bestand in Angaben der ELIRAF AG, die ausgehend von einer Wehrkronenhöhe von 126,74 m NN unter Annahme einer über die gesamte Wehrlänge gleichmäßig überströmten, ebenen Wehrkrone eine Q-h Linie für das Ausleitungswehr errechnen ließ, die Grundlage für die in der jüngsten Vergangenheit gültigen Festlegungen war (BJÖRNSSEN 1991). Tatsächlich ist die Wehrkrone des Ausleitungswehrs jedoch weder eben noch gleichmäßig überströmt, was insbesondere bei niedrigen Wehrüberfällen sehr klar erkennbar ist (Abb. 9).



Abb. 9: Ungleichmäßige Überströmung des Ausleitungswehrs der WKA Kirschhofen bei geringem Wehrüberfall. Links: deutlich identifizierbarer Tiefpunkt. Rechts: Unterläufigkeit erkennbar (Vordergrund).

Um (für im Rahmen von gewässerökologischen Messungen in der Ausleitungsstrecke belastbare) Angaben über einzuhaltende Oberwasserstände, und damit Abflüsse, machen zu können, entstand im Zuge des vorliegenden Gutachtens die Notwendigkeit, die tatsächliche Überströmcharakteristik des oberen Wehres besser zu erfassen. Dies sollte es ermöglichen, valide Zielzustände für den Oberwasserspiegel für Mindestabflussziele vorgeben zu können. Im Rahmen des vorliegenden Gutachtens wurden daher die maßgeblichen Komponenten der WKA Kirschhofen über ein Nivellement neu eingemessen und die Ergebnisse zudem mit den

von der Steuerungssoftware SPS verarbeiteten Daten der maßgeblichen Drucksonde verglichen.

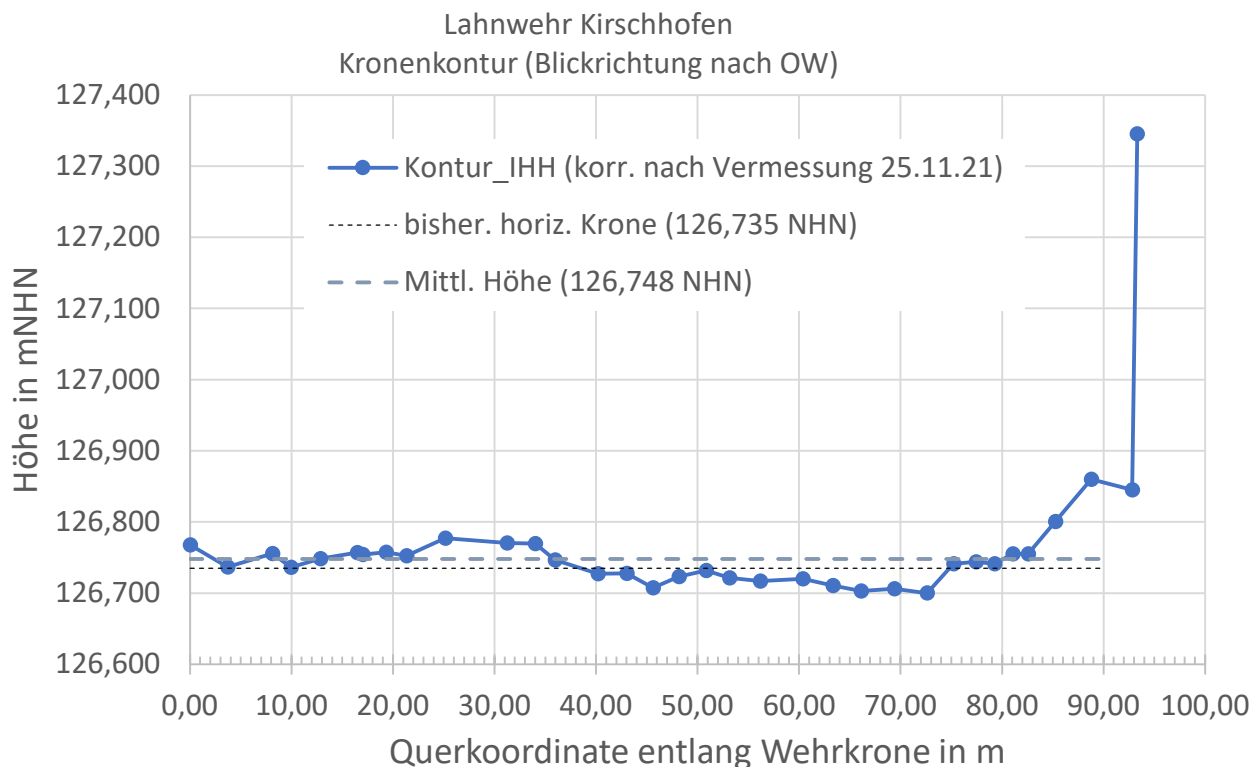


Abb. 10: Ergebnisse des Nivellements der Kronenkantur des Ausleitungswehres der WKA Kirschhofen als Grundlage zur Errechnung der Abflusskurve (Q-h Linie).

Dazu wurde die Kontur Wehrkrone, ausgehend von einem temporär hergestellten Festpunkt in der Nähe des Wehres (Stechpegelkonsole; Oberkante der Montageplatte für Stechpegel) im Oktober 2020 ausnivelliert. Es ergab sich die in Abb. 10 dargestellte Kontur mit einem Tiefstpunkt bei 126,700 mNHN, einem Mittelwert von 126,748 mNHN und einem Höchstpunkt von 126,777 mNHN. Diese maximalen Höhenunterschiede von 77 mm sind Ursache für die in den Bildern erkennbaren, ungleichmäßigen Überläufe. Der Mittelwert liegt um ca. 13 mm über dem auf NHN-Höhen umgerechneten, alten Stauziel.

Die Höhe der Stechpegelkonsole wurde dann schließlich am 25.11.2021 mittels der Vermessung durch einen ö.b.v. Vermesser (Fa. Mathes, Weilburg) auf 127,332 mNHN festgestellt. Aus der vermessenen Wehrkronenkantur wurde eine Q-h Linie errechnet, welche deutlich von der bislang zugrunde gelegten Q-h Linie abweicht (Abb. 11).

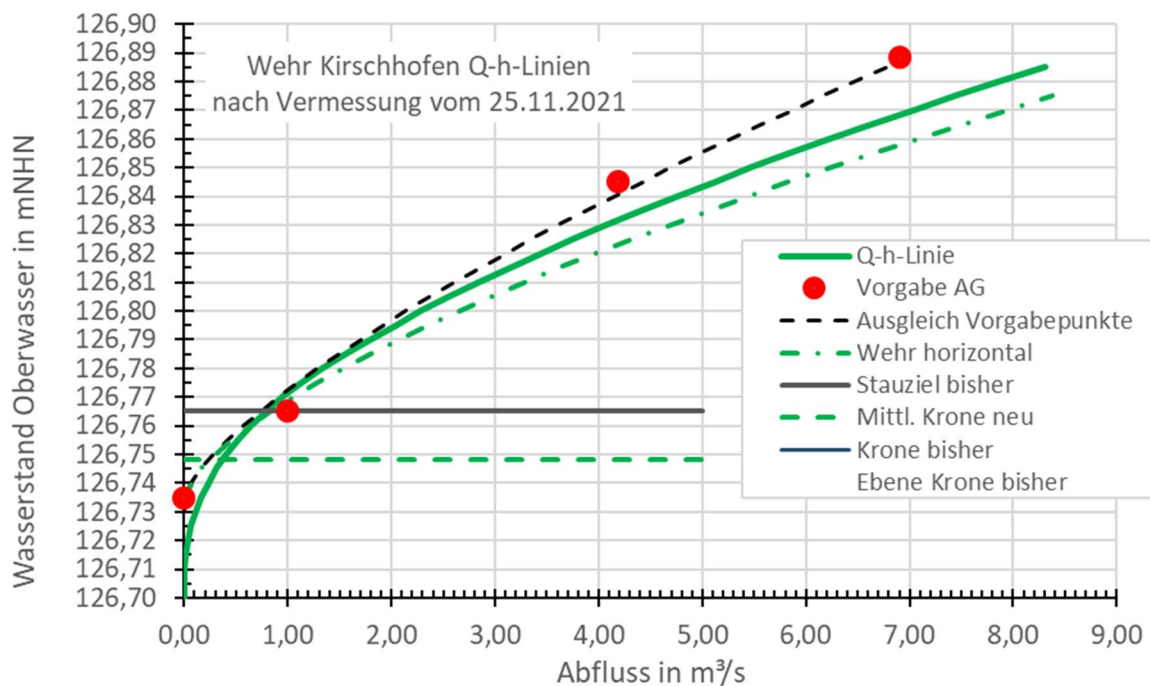


Abb. 11: Abflusskurven des Ausleitungswehres der WKA Kirschhofen: Vergleich der Ergebnisse des eigenen Nivellements mit den bisherigen Annahmen (Genehmigung ELIKRAFT AG, basierend auf angenommener ebener Wehrkrone).

4 Ökologische Zielkonflikte bei der Bestimmung eines optimalen Mindestwasserabflusses

Aufgrund der spezifischen Rahmenbedingungen am Standort der WKA Kirschhofen ist die Ermittlung eines ökologisch optimalen Mindestabflusses in der Ausleitungsstrecke komplex. Es wurden drei Themenbereiche identifiziert, im Rahmen derer sich die Höhe des Mindestabflusses ökologisch auswirkt, wobei in allen Themenkomplexen sowohl potentiell positive als auch negative Effekte erwartet werden können (Tab. 1). Die Herausforderung des vorliegenden Einzelfallgutachtens lag darin, die Zielkonflikte nach Möglichkeit ganz aufzulösen oder den bestmöglichen Ausgleich zwischen konkurrierenden Zielsetzungen zu erreichen.

Tab. 1: Erwartete ökologische Effekte, die mit steigendem Mindestwasser bewirkt werden.

Themenkomplex	Positive Effekte	Negative Effekte	Unklare Wirkungen
Habitatangebot	Verbesserung der Habitatqualität und Habitatquantität für rheophile Arten in der Ausleitungsstrecke (Strömungsgeschwindigkeit erhöht, größere bespannte Fläche, mehr Wasservolumen)	Verschlechterung der Habitatqualität und Habitatquantität für rheophile Arten im Oberwasser der WKA (erhöhtes Stauziel führt zur Verlängerung des Einstaubereichs)	Veränderung des Habitatangebots der Ausleitungsstrecke (u.a. Uferstrukturen) bei Mindestabfluss
Durchgängigkeit	Verbesserung der Durchgängigkeit für abwärts wandernde Arten (leichter auffindbarer, zusätzlicher Wanderkorridor)	Verschlechterung der Durchgängigkeit für aufwärts wandernde Arten (Auffindbarkeit FAA verschlechtert, Ausleitungswehre unpassierbar, ggf. Sackgasseneffekt durch Konkurrenzströmung)	
Lebensraumstabilität	Nutzungsbedingte, schnelle Abflussschwankungen am Standort (bei Änderungen des Betriebszustands der WKA, Schleusenbetrieb, oder „Welle“ aus dem Oberwasser) wirken sich in der Ausleitungsstrecke weniger stark aus. „Wellen“ werden nicht verstärkt, wenn Wehre stets überströmt sind.	Häufigere betriebsbedingte Abflussschwankungen durch tendenziell häufigeres Unterschreiten des anlagebedingten Mindestabflusses in den Turbinenkanal (infolgedessen Abschaltung der WKA)	

Im Themenkomplex „Habitatangebot“ liegen bei der Mindestabflussermittlung drei potentielle Zielkonflikte vor. Zum einen bewirkt eine Erhöhung des Mindestabflusses, dass die Ausleitungsstrecke auch bei Mindestabflusssituationen stärker durchströmt wird und somit zu erwarten wäre, dass sich die Lebensbedingungen für rheophile Fischarten (welche bei einer von Wasserkraftnutzung unbeeinflussten, natürlichen Situation am Standort dominieren würden), die auch als Zielarten im Mindestwassererlass benannt werden, in der Ausleitungsstrecke verbessern sollten. Demgegenüber steht ein Verlust von Habitatqualität in der Lahn im Oberwasser der WKA, wenn der Mindestabfluss über einen erhöhten Wehrüberfall und damit einem erhöhten Stauziel erreicht wird. Zweitens könnten seltene oder geschützte Arten, die unter natürlichen Umständen ihren Lebensraum in Altarmen oder ähnlichen nicht rheophilen Sonderlebensräumen hätten, negativ von einer Erhöhung des Mindestabflusses betroffen sein. Potentiell betroffene Arten wären z.B. der nach FFH-Richtlinie geschützte Bitterling (*Rhodeus amarus*) oder Großmuscheln. Drittens verschiebt sich mit einer Erhöhung des Mindestabflusses auch die dann vorherrschende Wasserspiegellage und Uferlinie, so dass sich insbesondere die Habitate am Gewässerrand potentiell verändern. Diese können besondere Bedeutung als Laichhabitate oder Unterstände für Fische haben, vor allem Flachwasserbereiche können wertvolle Jungfischhabitate aufweisen. Bei steigenden Wasserständen können sowohl Habitate hinzukommen (z.B. durch zunehmende Überspülung eines flachen Bereichs) als auch ihre Funktion einbüßen (z.B. ein ehemaliges Flachufer, das höher mit Wasser überströmt wird). Eine pauschale Erwartungshaltung zur Auswirkung des Mindestabflusses auf dieses Habitatangebot kann daher nicht formuliert werden.

Im Themenkomplex „Durchgängigkeit“ besteht ein potentieller, mindestabflussabhängiger Zielkonflikt zwischen aufwärts gerichteter Durchgängigkeit und abwärts gerichteter Durchgängigkeit. Bei einer Sicherstellung des Mindestabflusses durch die Überfallhöhe am Ausleitungswehr kann eine verbesserte abwärts gerichtete Durchgängigkeit in die Ausleitungsstrecke erwartet werden, da die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Passage des Ausleitungswehres steigen sollte. Dagegen sinkt potentiell die aufwärts gerichtete Durchgängigkeit am Standort der WKA Kirschhofen mit zunehmendem Mindestabfluss in die Ausleitungsstrecke, da diese über keinerlei FAA verfügt. Höhere Mindestabflüsse könnten dabei über zwei unterschiedliche Mechanismen die Auffindbarkeit der FAA im Turbinenkanal, welche den einzigen verfügbaren Fischaufstiegsweg am Standort der WKA Kirschhofen darstellt, verringern. Zum einen könnte eine Konkurrenzströmung aus der Ausleitungsstrecke die aufwanderungswilligen Fische potentiell in diese hineinlocken und somit einen „Sackgasseneffekt“ bewirken. Zum zweiten erhöht sich mit zunehmendem Mindestabfluss in die Ausleitungsstrecke die Wahrscheinlichkeit, dass die WKA bei niedrigen Abflüssen ausgeschaltet wird, da der für den Betrieb notwendige Mindestabfluss durch die Anlage unterschritten ist. Bei Abschaltung der Anlage fließt der gesamte Lahnabfluss (abzüglich der Dotationen der vorhandenen und geplanten Fischwege) durch die Ausleitungsstrecke, so dass aufwandernde Fische nur noch mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit in den Turbinenkanal einschwimmen sollten und somit die FAA nicht auffinden. Stattdessen

schwimmen sie in die aufwärts unpassierbare Ausleitungsstrecke ein und können die beiden Wehre nicht passieren („Sackgasseneffekt“).

Im Themenkomplex „Lebensraumstabilität“ liegt ein potentieller Zielkonflikt zwischen der Stärke der Auswirkungen abrupter Abflussveränderungen und der Häufigkeit ihres zu erwartenden Auftretens vor. Wenn sich der Betriebszustand der WKA verändert, z.B. weil eine Abschaltung aufgrund zu geringen Abflusses (Unterschreiten des technischen Mindestabflusses von ca. $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$) erfolgt, verändert sich der Abfluss in der Ausleitungsstrecke innerhalb kurzer Zeit, einhergehend z.B. mit stark veränderten Strömungsgeschwindigkeiten. Unter den Bedingungen der abgelaufenen Betriebserlaubnis hätte dies im o.g. Beispiel zu einer Abflusszunahme von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $\sim 7,0 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Ausleitungsstrecke geführt, also zu einer Versiebenfachung. Läge der Mindestabfluss bei $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$, wäre die Abflusszunahme hingegen nur eine Vervierfachung. Es ist anzunehmen, dass in solchen Fällen sich die Veränderungen in der Ausleitungsstrecke weniger stark negativ auswirken, je höher der Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke liegt („Pufferwirkung“), und dadurch eine höhere Stabilität des Lebensraums bewirken. Bei einer Steuerung des Mindestabflusses über die Höhe des Wehrüberfalls sinkt zudem mit zunehmendem Mindestabfluss die Wahrscheinlichkeit, dass die Wehre im Zusammenhang mit den beschriebenen „Oberwasserwellen“ trockenfallen. Demgegenüber steht, dass eine Erhöhung des Mindestabflusses mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einhergeht, dass ein Unterschreiten des technischen Mindestabflusses der Turbinen stattfindet. Bei höherem Mindestabfluss wären also häufigere Änderungen des Betriebszustands zu erwarten, bzw. die Wasserkraftanlage wird häufiger ab- und wieder angeschaltet. Damit wäre die Lebensraumstabilität potentiell negativ betroffen.

Im Folgenden werden die benannten Themenkomplexe detailliert analysiert und im Anschluss die Erkenntnisse in einer Synthese zusammengeführt. Daraus wird schließlich eine Empfehlung zur Höhe und Sicherstellung des Mindestabflusses entwickelt.

5 Habitatangebot in Abhängigkeit von der Mindestwasserführung in der Ausleitungsstrecke

5.1 Vorbemerkung

Die Ausleitungsstrecke in Kirschhofen zeichnet sich insgesamt aufgrund des massiven Gewässerausbaus durch eine Strukturarmut im Gerinne und eine geringe Wassertiefen- und Strömungsvarianz aus. Dies hat eine eingeschränkte Habitatvielfalt für aquatische Lebewesen zur Folge, die nicht durch strukturverbessernde Maßnahmen erhöht werden kann, da dieser Lahnabschnitt dem Wasser- und Schifffahrtsamt unterliegt.

5.2 Potential der Ausleitungsstrecke als Habitat

Die Ausleitungsstrecke lässt sich aufgrund ihrer Gewässerstruktur in drei Abschnitte einteilen. Diese Abschnitte bieten wegen der vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten, Wassertiefen, Uferneigungen und Vegetation unterschiedliche Habitatstrukturen für aquatische Organismen.

Das obere, ca. 65 m lange Teilstück der Ausleitungsstrecke erstreckt sich vom Ausleitungswehr bis zum darunterliegenden, kleineren zweiten Wehr. In diesem Abschnitt sind die Uferneigungen steil und mit Steinsatz massiv befestigt. Auch die Gewässersohle war ursprünglich durchgehend befestigt gewesen. Mittlerweile ist durch Erosion im Prallhangbereich auf der linken Uferseite die Sohlbefestigung aufgebrochen und ein großes Loch entstanden (Abb. 12, links). Im weiteren Verlauf, unterhalb des Steinriegels aus Wasserbausteinen (s.u.), befindet sich ein großes Loch in der Sohle. Dort liegen die Wassertiefen über einem Meter.



Abb. 12: Strukturen im Bereich des oberen Abschnitts der Ausleitungsstrecke (zwischen den Wehren). Links: aufgebrochene Sohlbefestigung. Rechts: teilweise bewachsener Steinriegel mit Kiesanlandungen.

Parallel zum Ausleitungswehr befindet sich im Unterwasser eine Aufschüttung mit Wasserbausteinen, die vermutlich zur Reduktion der Strömungsgeschwindigkeit unterhalb des Wehres eingebaut wurde und damit das Tosbecken ersetzt (Abb. 12 rechts). Vor dieser Aufschüttung hat sich stellenweise Kies angelagert. Auf dieser Aufschüttung befindet sich ein

krautiger Aufwuchs, der mit mehreren Weidenbüschen durchsetzt ist. Die Aufschüttung ist das einzig strukturgebende Element in diesem Abschnitt und wird vor allem auf der linken Prallhangseite durch eine ca. 5 - 15 m lange Fließstrecke mit höherer Strömungsgeschwindigkeit (0,5 - 0,8 m/s) durchbrochen. Auch in der Flussmitte befindet sich eine abgeflachte Stelle im Steinriegel unterhalb des Wehres, die je nach Abfluss auf wenigen Metern (< 10 m) weitere flache Fließstrecken als Habitat für aquatische Organismen bietet.

Insgesamt zeichnet sich dieser obere Abschnitt, mit Ausnahme des oben beschriebenen Lochs, durch mittlere Wassertiefen ($\leq 0,6$ m) und geringe Strömungsgeschwindigkeiten ($\leq 0,5$ m/s) aus (bezogen auf Niedrig- bis Mittelwasserabfluss). Aufgrund des massiven Gewässerausbaus gibt es dort einen sehr großen Mangel an Deckungsstrukturen. Naturnahe Habitate für Fließgewässerorganismen sind nur in äußerst geringem Umfang vorhanden. Hinzu kommt, dass dieser Abschnitt fast ausschließlich über das Ausleitungswehr durch eindriftende Organismen besiedelt werden kann, da das unterhalb des Ausleitungswehrs liegende kleinere Wehr selbst bei geringen bis mittleren Wasserständen nicht von großen Fischen passiert werden kann. Deshalb stand dieser Teilabschnitt der Ausleitungsstrecke, in Absprache mit der Genehmigungsbehörde, nicht im Fokus der Untersuchungen zur Mindestwasserbestimmung. Bemerkenswert ist, dass beinahe das gesamte Gefälle der insgesamt ca. 312 m langen Ausleitungsstrecke über das Ausleitungswehr und das darunterliegende zweite Wehr abgebaut wird. Dieser Umstand hat ein äußerst geringes Gefälle von 0,05 ‰ für die beiden darunterliegenden Abschnitte zur Folge und beeinflusst damit sehr stark die dort vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten bzw. die Habitatqualität für die flusstypischen strömungsliebenden Fischarten.



Abb. 13: Mittlerer Teil der Ausleitungsstrecke (unterhalb des zweiten Wehres, flussabwärts fotografiert). Am rechten Gleithangufer liegt eine Kiesbank mit Bucht, dahinter liegend erstreckt sich gehölzbewachsenes, z.T. flaches Ufer. Am linken Prallhang Steilufer aus Steinschüttung, das stellenweise Gehölzaufwuchs aufweist.

Der zweite, mittlere Teilabschnitt beginnt unterhalb des zweiten Wehres und hat eine Länge von 101 m. In diesem Abschnitt fließt die Lahn sichtbar nur direkt unterhalb des Wehres auf einer Länge von ca. 30 m (bezogen auf Niedrigwasserstände). Die Wassertiefen liegen

zwischen 0,2 und 0,5 Metern im Randbereich und zwischen 0,8 und 1,2 Metern in der Flussmitte. Die Strömungsgeschwindigkeiten in Flussmitte betragen zwischen 0,21 und 0,4 m/s (bezogen auf Niedrigwasserstände). Auf der rechten Uferseite befinden sich unterhalb des Wehrs kiesige Ablagerungen, die auf einer Länge von ca. 50 m eine Kiesbank mit Bucht ausgebildet haben (Abb. 13).

Die nachfolgenden, kiesigen bis sandigen Ablagerungen auf der rechten Uferseite mit einer Länge von 51 m sind größtenteils mit Weidenbüschen bewachsen, sodass dort keine weiteren großen, offenen Kiesflächen existieren. Diese sehr naturnahen, teilweise flachen Uferstrukturen beschränken sich im zweiten Abschnitt allerdings nur auf die rechte Uferseite. Dort könnten aufgrund der Gewässerstruktur potentiell Aufwuchshabitate für Jungfische strömungsliebender Fischarten, wie der Barbe, vorhanden sein. Die linke Uferseite der Ausleitungsstrecke ist durchgehend steil, trapezartig und massiv mit Steinschüttung gesichert. Allerdings überdecken viele Büsche die Steinschüttung auf der linken Seite und bieten daher während der Vegetationsperiode stellenweise Unterstände für Fische.

Im beschriebenen zweiten Teilabschnitt befinden sich die Stationen für die Querprofile (s. Kap. 5.3.1) eins bis drei. Ein Profil hätte nach Vorgaben der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA 2001), auf die sich der Mindestwassererlass in Hessen bei seinen Vorgaben bezieht, (St.Anz. 6/2018) genau in diesem Abschnitt an einer pessimalen Schnelle liegen müssen, um die Mindestwassertiefe (0,3 m) und die erforderliche Strömungsgeschwindigkeit ($\geq 0,3$ m/s) für die Passierbarkeit dieser Stelle im Wanderkorridor der Ausleitungsstrecke für Fische in der Barbenregion zu prüfen. Da jedoch die Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen aufgrund der Unpassierbarkeit beider Wehre kein Wanderkorridor für aufwandernde Fische sein kann, wurden stattdessen von der Genehmigungsbehörde, in Anlehnung an den Biotop-Abfluss-Ansatz (LAWA 2001, HMUKLV 2017), Standorte für Querprofile ausgesucht und vorgegeben, an denen eine mögliche Verbesserung des Lebensraumes bei Erhöhung des Mindestwasserabflusses für die Leitfischart Barbe dokumentiert werden könnten.

Dazu wurden am 21.04.2020 die Stationen der Querprofile 1, 2, 3, 7 und 8 bestimmt. Diese konnten nicht an weiteren repräsentativen Schnellen in der Ausleitungsstrecke eingerichtet werden, da diese in der Strecke Kirschhofen aufgrund der durch den Gewässerausbau vorgegebenen Struktur fehlten. Stattdessen wurden sie an Stellen eingerichtet, wo ein erhöhter Mindestabfluss möglicherweise zu einer Aufwertung von Habitaten strömungsliebender Fische führen könnte. Zusätzlich dazu wurden drei Profile bestimmt, die repräsentativ für die restliche Habitatverfügbarkeit in der Ausleitungsstrecke sind (Querprofile 4, 5, 6).

Der dritte, ca. 146 m lange Abschnitt der Ausleitungsstrecke erstreckt sich bis zur Einmündung der Ausleitungsstrecke in den Turbinenauslaufkanal (Abb. 14). In diesem Abschnitt ist im Gegensatz zum davor liegendem Abschnitt keine sichtbare Strömung mehr im Fluss vorhanden (bezogen auf Niedrigwassersituation). Zudem sind in diesem Abschnitt die Ufer

vorwiegend steil und trapezförmig. Flachwasserzonen im Uferbereich kommen kaum vor und sind auf Abschnitte von wenigen Metern beschränkt.



Abb. 14: Unterer Abschnitt der Ausleitungsstrecke. Links: rechtes Gleithangufer mit organischen Auflagen und Zusammenfluss mit Turbinenkanal. Rechts: linkes, steiles Prallhangufer mit Steinschüttung.

Die Wassertiefen sind in diesem Abschnitt hoch und die Strömungsgeschwindigkeiten sehr gering. Der Rückstau aus dem weiterführenden Lahnbett in die Ausleitungsstecke ist wegen des bezogen auf die Sohle hohen Rückstauniveaus und des extrem niedrigen Gefälles stark ausgeprägt und reicht bei höheren Lahnabflüssen bis in den darüber liegenden Abschnitt, bisweilen sogar bis kurz unterhalb des zweiten Wehres. Lediglich bei sehr niedrigen Unterwasserständen bzw. Lahnabflüssen ist dieser Rückstau in die Ausleitungsstrecke etwas abgeschwächt. Die linke Uferseite (Prallhang) des dritten Abschnittes ist durchgehend mit einer massiven Steinschüttung gesichert. Vereinzelt Bäume und Sträucher im Uferbereich können diese Strukturarmut im Uferbereich nicht abmildern. Auf der rechten Uferseite ist die Befestigung durch Sand, Schlamm und Treibgutgeschwemmsel überlagert. Auf dieser Auflagerung hat sich ein dichter Krautsaum und Baumbewuchs angesiedelt. Allerdings sind auch an dieser Seite die Ufer weitgehend steil abfallend und das Gerinne somit insgesamt trapezförmig.

Im dritten Abschnitt liegen die Stationen der Querprofile 4-7, wobei das Profil 7 an der einzigen Stelle liegt, an dessen linker Uferseite sich eine Bucht in der Steinschüttung befindet. Möglich ist dies nur, da die Steinschüttung an dieser Stelle stark erodiert ist, so dass hier auch eine potentielle Flachwasserzone für Jungfische entstanden ist.

Das letzte Querprofil Nr. 8 liegt direkt unterhalb der Einmündung der Ausleitungsstrecke in den Auslaufkanal der Turbinen. Dieser Standort wurde festgelegt, um bei verschiedenen Abflusssituationen in der Ausleitungsstrecke das Auftreten einer unerwünscht auftretenden Leitströmung für aufwandernde Fische in die Ausleitungsstrecke zu prüfen bzw. diese Leitströmung mit der Leitströmung aus dem Turbinenauslauf mit angrenzender FAA vergleichen zu können.

Insgesamt zeichnet sich die Ausleitungsstrecke in Kirschhofen aufgrund des massiven Gewässerausbaus, bis auf einen 100 m langen Abschnitt unterhalb des zweiten Wehrs, durch Strukturarmut im Gerinne aus. Die vorherrschende Wassertiefen- und Strömungsvarianz ist gering. Dies hat eine eingeschränkte Habitatvielfalt für aquatische Lebewesen zur Folge. Mit einer Behebung dieser strukturellen Defizite, z.B. durch strukturverbessernde Maßnahmen, ist derzeit nicht zu rechnen.

5.3 Veränderungen der Fischhabitate in der Ausleitungsstrecke in Abhängigkeit vom Abfluss

5.3.1 Datenerfassung

Damit vergleichbare Messungen der Wassertiefe und Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Abflüssen möglich wurden, sind für den Untersuchungszeitraum Messstationen aufgebaut worden, an denen Querprofile eingerichtet wurden (Abb. 15). Dazu wurden an beiden Uferseiten Kreuzer der zur Befestigung von Stahlseilen eingeschlagen und anschließend mittels Nivelliergerät genau eingemessen. An jedem Profil wurde ein Stahlseil quer über das Flussbett gespannt, an dem in regelmäßigen Abständen Markierungen angebracht waren (0,5 m in Ufernähe, 2 Meter über dem Fluss). Auf Höhe der Markierungen wurden mit einem Maßstab die Wassertiefen gemessen und die Strömungsgeschwindigkeiten mit einem Messflügel (Fa. Schiltknecht, Modell Mini Air 20, kalibriert für Flüssigkeiten) ermittelt. Die Strömungsmessungen fanden 5 cm unterhalb der Wasseroberfläche, in Wassersäulenmitte und 5 cm oberhalb der Gewässersohle statt. Zur Überprüfung des Durchflusses wurden am Querprofil 3 zusätzliche Messungen im oberen und unteren Viertel der Wassersäule durchgeführt. Diese Durchflussmessungen dienten der Absicherung der Messergebnisse der Sonden oberhalb des Ausleitungswehres und oberhalb des Turbineneinlaufes an der WKA, sowie der Durchflussmessungen die anhand der Aufzeichnungen der WKA vorgenommen wurden. Die Strömungsgeschwindigkeiten am Profil Nr. 3 wurden für die verschiedenen Durchflüsse mit der Software Q ausgewertet.

Die Messungen zum Mindestwasserabfluss fanden am 29.06. und 30.06. 2021 statt. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Lahn einen niedrigen Abfluss von $< 20 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Rückstau der Lahn in die Ausleitungsstrecke war damit sehr gering und es war zu erwarten, dass die unterschiedlich eingestellten Mindestwasserabflüsse eine maximale Wirkung auf die Anströmgeschwindigkeit der verschiedenen Fischhabitate bei gleichzeitig minimalen Wassertiefen entfalten. Diese Ausprägungskombination beider Faktoren bewirkte entsprechend eine maximale Habitatverfügbarkeit für die flusstypischen, strömungsliebenden (rheophilen) Fischarten der Barbenregion. Der Messzeitraum stellte deshalb einen Zustand nahe dem Optimum dar, der das Maximalpotential bezüglich des verfügbaren Lebensraums für rheophile Fische abbildete.

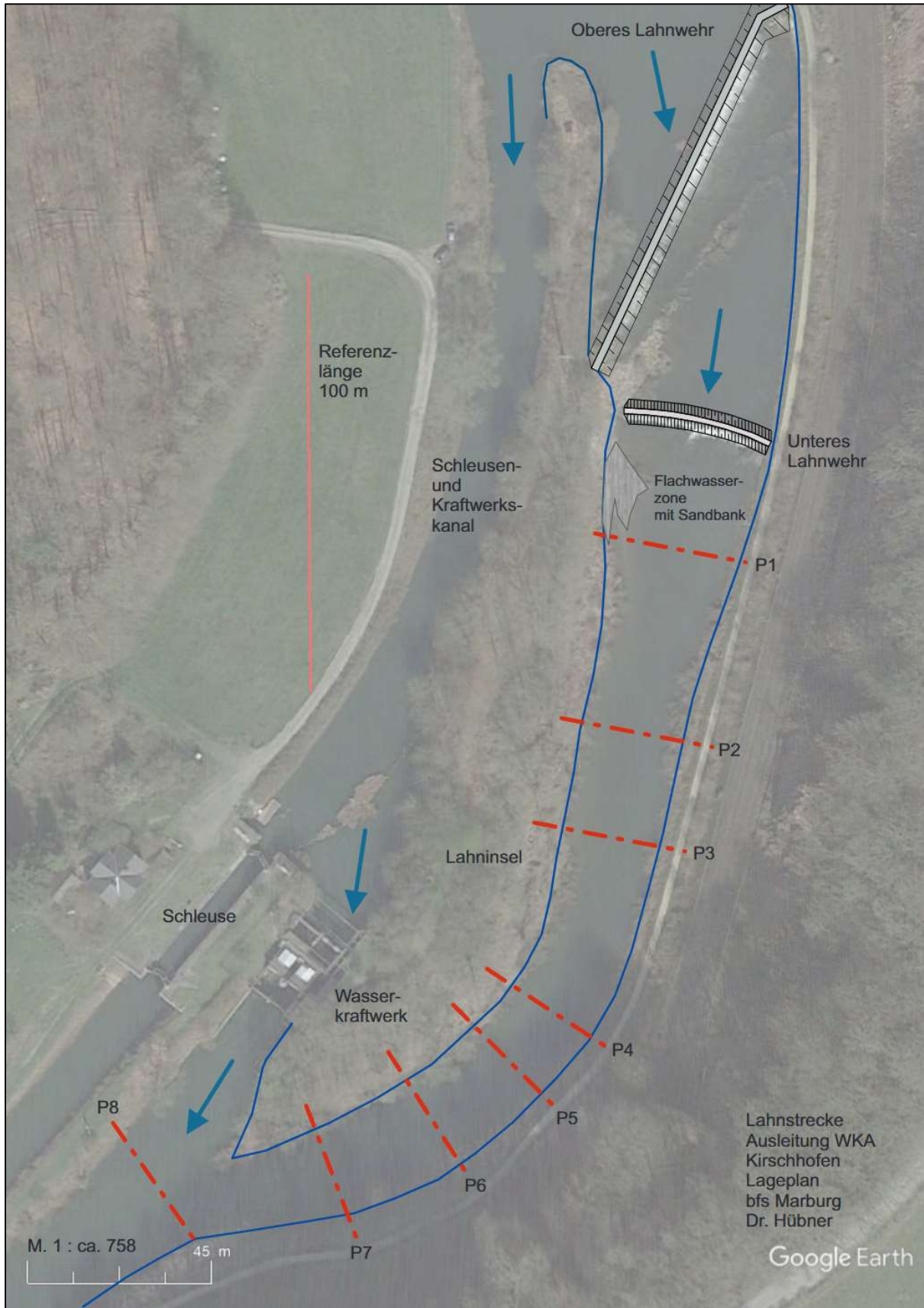


Abb. 15: Lageplan der Querprofile zur Messung von Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe.

5.3.2 Höhenerfassung und Kontrolle des Abflusszustandes während der Messungen

Bei den hydraulischen Messungen in der Restabflussstrecke waren die Abflüsse, Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten zeitlich möglichst auf bestimmten repräsentativen Werten konstant zu halten. Da bereits Schleusenbetrieb stattfand, waren hier Schwankungen aus der Schleusenbefüllung auszugleichen. Es wurde ein Abflusszustand in der Lahn abgewartet, bei dem ausreichend Wasser für die Schleuse, eine stabil laufende Turbine, den Fischpass und die vorgesehene Bespannung der Restabflussstrecke zur Verfügung stand. Wegen nassen Wetters im Frühsommer waren die Abflüsse in der Lahn erst verzögert soweit zurückgegangen, dass es möglich war, mit einer Turbine den Betrieb zu kontrollieren. Weiterhin waren mäßige Gesamtabflüsse in der Lahn abzuwarten, da sonst der Rückstau in die Restabflussstrecke reduzierte Geschwindigkeitsverhältnisse erzeugt hätte. Nicht zuletzt traten Verzögerungen durch die Reparatur einer Turbine auf.

Das Verfahren zur Kontrolle der OW-Höhen bzw. der Überfallhöhe und damit des Abflusses kann wie folgt zusammengefasst werden:

1. Höhenaufnahme des Wehres
2. Erstellung der Abflusskurve für den vorhandenen Kronenverlauf (Abb. 11)
3. Festlegung von Zielabflüssen 2 / 4 / 6 m³/s
4. Berechnung der zu diesen Zielabflüssen gehörenden Oberwasserstände
5. Ermittlung des Höhenoffsets der vorhandenen Drucksonde 1 am Wehr
6. Ermittlung der Systemwerte zu diesen Zielwasserständen durch Berücksichtigung dieses Offsets
7. Einstellung des Turbinenreglers als Wasserstandsregler auf diese Zielhöhe

Schließlich wurden die tatsächlichen Abflüsse zur Kontrolle mittels der in Profil 3 verdichteten Flügelmessungen erfasst (siehe nächster Abschnitt).

Die wesentliche Kontrollfunktion für den Oberwasserstand musste vom Turbinenregler geleistet werden, der auf die Betriebsart „Wasserstandsregelung mit Sonde 1“ gestellt worden war. Aus einem direkten Vergleich einer Stechpegelmessung am 29.06.2021 (WSP OW = Stechpegelablesung 0,012 m + StechpegelNull 126,745 mNHN = 126,757 mNHN) und der kurz danach erfolgten Ablesung der Wehr-Drucksonde 1 (126,803 m+DS1N) ergab sich für diese Drucksonde ein Offset bezogen auf später ermittelte NHN-Höhen von 46 mm. Um diesen Wert ging zu diesem Zeitpunkt die Drucksonde 1 gegenüber dem realen Wasserspiegel (in NHN) oberstrom des Wehres vor. Aus einem anderen Messwertvergleich war zuvor ein Offset von 47 mm festgestellt worden, der zur Sicherheit dann den Einstellungen des Turbinenreglers zugrunde gelegt wurde.

Aus der Abflusskurve (Tabelle in Anhang 11) konnten damit die einzustellenden Werte entnommen werden (Tab. 2):

Tab. 2: Hydraulische Rahmenbedingungen für die Messszenarien. *: Der Zustand D ist ein Zusatzszenario, das eingestellt worden wäre, wenn die Ergebnisse der Szenarien A bis C zu wenig Informationen geliefert hätten. **: DS1N = Nullpunktlage der Drucksonde 1 am 29. und 30.06.2021.

Abfluss-zustand Szenario	Ziel-Abfluss l/s	Ziel-Oberwasserstand mNHN	Überfallhöhe über Tiefstp. mm	Zielwert PLS für OW-Regelung mit DS 1 m+DS1N**
A	2000	126,794	94	126,841
B	4000	126,829	129	126,876
C	6000	126,857	157	126,904
D*	8000	126,872	182	126,929

Für zukünftige Nachmessung und Kontrolle der Oberwasserstände wurde nahe dem Oberwasser des oberen Wehres in die mit Blocksteinen gesetzte Böschung der Insel ein stabiler Messingbolzen gesetzt. Der Bolzen sitzt etwa 1,15 m über der mittleren Kronenhöhe in der steilen Steinsatz-Böschung, an der der Zugang mit einer Leiter leicht möglich ist. Dessen Höhe (höchster Punkt am Bolzen) wurde am 25.11.2021 mit **127,907 mNHN** festgestellt (Vermessung Mathes). Damit steht dieser bei zukünftigen Kontrollmessungen als Festpunkt zur Verfügung. Die Höhendifferenz zum Tiefstpunkt der Wehrkrone (Beginn der Q-h-Linie) beträgt 1,207 m; die Höhendifferenz zur Sollhöhe bei 2 m³/s beträgt 1,113 m. Die Pegelsonde ist auf die vorgenannten Werte anzupassen.

5.3.3 Messung des Abflusses

Wie im vorstehenden Abschnitt beschrieben, wurden die Durchflüsse während der gewässerökologischen Aufnahmen dadurch kontrolliert, dass im Messprofil 3 in den Messlotrechten jeweils zwei zusätzliche Punkte hinsichtlich Strömungsgeschwindigkeit aufgenommen wurden. Somit wurden in jeder der 16 Messlotrechten in Profil 3 fünf Messwerte (sohlnah / untere Hälfte / Mitte / obere Hälfte / oberflächennah) erfasst. Das Profil 3 wurde gewählt, weil dort der Fließquerschnitt relativ kompakt ist und der Übergang am Ufer nicht durch Flachwasser und Rückströmungen problematisch in der Erfassung ist. Der Abstand der Messlotrechten ist mit 2,0 m ausreichend klein; die Zahl der Messlotrechten und Profilupunkte erfüllt die Vorgaben des Pegelhandbuchs (LAWA, 2018). Zusammen mit den Wassertiefen waren damit alle Informationen vorhanden, um nach dem im Pegelhandbuch vorgesehenen Verfahren der Integration von Vertikalverteilungen der Geschwindigkeit und anschließend der Querverteilung der spezifischen Abflüsse den Durchfluss zu bestimmen. Da an der Gewässersohle in der dortigen Grenzschicht ein sehr steiler Geschwindigkeitsgradient vorhanden ist, der mittels Flügelmessung nicht erfassbar ist, gibt die Pegelvorschrift vor, dass direkt an der Sohle die Hälfte der Geschwindigkeit des unteren sohlnahen Messpunktes anzusetzen ist. Für die Integration des Geschwindigkeitsprofils zu einem Durchfluss stand die Software „Q“ zur Verfügung, die von der Bundesanstalt für Gewässerkunde speziell für diesen Zweck entwickelt wurde.

Die mit Unterstützung der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau der Universität Kassel so aus Flügelmessungen errechneten Abflüsse sind in der folgenden Tabelle (Tab. 3) in Spalte 4 eingetragen. Weiterhin wurden während der Messungen regelmäßig Stechpegelablesungen vorgenommen (Spalte 6) und mittels der oben beschriebenen Abflusskurve in Abflüsse (folgende Tabelle Spalte 8) umgerechnet. Diese Abflüsse waren dann während der Messung tatsächlich vorhanden.

Tab. 3: Ergebnisse der Abflussmessungen. Spaltenerklärungen s. Fließtext.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Abflusszustand Szenario	Ziel-Abfluss (l/s)	Ziel-Oberw. stand mNHN	WSP Stech-Pegel mNHN	Δ WSP (mm)	Mittl. Abfluss Stech-pegel (l/s)	Δ zu Stech-pegel-wert (%)	Abfluss gemessen (Profil 3) (l/s)	Δ zu Ziel-wert (%)
A	2000	126,794	126,797	+3	1981	-3,6	1910	-4,5
B	4000	126,829	126,825	-4	3701	-8,1	3400	-15,0
C	6000	126,857	126,854	-4	5689	-6,3	5330	-11,2

Bei der Interpretation dieser Werte ist zunächst noch einmal zu erwähnen, dass bereits in der Einstell-, Mess- und Auswertmethodik eine Vielzahl von Unsicherheiten enthalten sind, wie z.B.:

- Erfassung der hydraulisch maßgebenden Konturlinie der Wehrkrone
- Abschätzung des Überfallbeiwertes für das Wehrprofil
- Unsicherheiten bei der Propellermessung (faserige Triebstoffe können den Propeller behindern)
- Unvermeidbare Fehler aus Schwankungen des Oberwasserspiegels mit zeitweise kleineren Wasserständen durch Sunk aus Schleusenfüllungen
- Tatsächlich größerer Abflussquerschnitt durch Steinlücken an der Sohle
- Anschluss der Profile an die Ufer

Weiterhin weisen die die Wasserstandsmessungen mit Drucksonden Unsicherheiten auf. Auch wenn diese zu einem großen Teil durch die erfolgten Vergleichsablesungen bei horizontalem Wasserspiegel ausgeglichen wurden, bleiben Unsicherheiten durch Nichtlinearitäten und Hysteresen in den Drucksonden sowie Wandlerfehler und Schwankungen. Abweichungen zwischen Zielwerten und Istwerten sind auch aus dem Verhalten des Turbinenreglers zu erwarten, denn dieser muss träge arbeiten, damit keine Reglerschwingungen auftreten und die Antriebe der Stellorgane nicht überlastet werden.

Angesichts dieser Unsicherheiten sind die in der vorstehenden Tabelle festgehaltenen gemessenen Abflusswerte als sehr gut anzusehen. Im Einzelnen sind die Ergebnisse wie folgt zu interpretieren:

1. In den Spalten 3, 4 und 5 sind die Zielwerte des Oberwasserstandes und die mit dem Stechpegel gemessenen Kontrollwerte mit den Abweichungen (Spalte 5) aufgeführt. Die Werte zeigen, dass die Oberwasserstände relativ gut eingehalten wurden mit einer systematischen Abweichung nach unten. Dies ist weitgehend zu erklären mit den Sunkerscheinungen aus den Schleusenfüllungen, die durch den Turbinenregler wegen der notwendigen Trägheit nur zeitverzögert ausgeglichen werden können. Die Abweichungen bewegen sich aber im mm-Bereich, was angesichts der vielen genannten Einflüsse als sehr gut anzusehen ist.
2. Der Vergleich der Zielwerte (Spalte 3) und der aus eingeregelteten Oberwasserständen ableitbaren Abflüsse (Spalte 6) zeigt anhand der relativen Abweichungen (Spalte 7), dass die Minderabflüsse deutlich unter 10 % liegen (Größtwert 8,1 %), was angesichts der sehr flachen Abflusscharakteristik als sehr gut zu bezeichnen ist.
3. Auch wenn man die gemessenen Abflüsse (Spalte 8) mit den Zielwerten (Spalte 3) vergleicht und dabei die oben genannten Messunsicherheiten berücksichtigt, zeigen die sich ergebenden relativen Abweichungen in Spalte 9, dass die Zielwerte mit einer Genauigkeit eingehalten werden, die mit vertretbarem Aufwand infolge der gegebenen ungünstigen hydraulischen Bedingungen (lange Wehrkrone, flache Abflusscharakteristik) praktisch nicht zu verbessern ist.

Fazit ist, dass die Abweichungen zwischen Zielwert und Abflussmessung angesichts der genannten Unsicherheiten in dem Bereich liegen, der für Messungen dieser Art unvermeidbar ist. Dass sich systematisch kleinere Werte ergeben ist ebenfalls nachvollziehbar. Die Abweichungen nach unten, die durch schleusungsbedingten Sunkerscheinungen verursacht werden, werden außerhalb der Betriebszeiten der Schleuse, also die meiste Zeit des Jahres, in dieser Form nicht auftreten. Die zum Einstellen verwendete Methodik kann auch in Zukunft zur Sicherstellung der noch festzulegenden Restabflüsse verwendet werden. Auch die im Zusammenhang mit der Aufstellung der Abflusskurve erzeugten EXCEL-Werkzeuge und EXCEL-Funktionen können zukünftig für die Überwachung der Überlauftätigkeit bzw. der Dotation der Restabflussstrecke verwendet werden.

5.3.4 Abflussszenario A (2 m³/s)

Bei einem Abfluss von 2 m³/s in der Ausleitungsstrecke war das Ausleitungswehr bereits in voller Breite überströmt (Abb. 16). In einem Abstand von 30 Metern unterhalb des zweiten Wehres auf der Höhe der Kiesbank mit Bucht (Querprofil 1) kam es zu keinen angeströmten Flachwasserhabitaten (Wassertiefe ≤ 25 cm) mit ausreichenden Strömungsgeschwindigkeiten ($\geq 0,2$ - $0,3$ m/s) für Jungfische der strömungsliebenden Fischarten wie der Leitfischart Barbe, oder anderen rheophilen Begleitfischarten (z.B. Hasel, Nase etc.). In der einen Meter breiten und flachen Kiesbucht innerhalb des Profils auf der rechten Uferseite bildete sich eine Rückströmung mit Strömungsgeschwindigkeiten von 0,03 - 0,16 m/s aus. Allerdings war im Prallhang auf der linken Uferseite, in einem Abstand von sechs Metern vom Ufer, eine vier

Meter breite Zone zu finden, die als geeignet für adulte strömungsliebende (rheophile) Fischarten eingeschätzt wird. Die Wassertiefen betragen dort 0,9 bis 1,0 m und die Strömungsgeschwindigkeiten lagen zwischen 0,2 bis 0,6 m/s.



Abb. 16: Oberes und unteres Wehr bei 2 m³/s Abfluss vollkommen überströmt, an rechter Uferseite Bucht (an Kiesbank) mit Rückströmung.

Im Querprofil 2, 76 m unterhalb des zweiten Wehres, entstanden bei einem Abfluss von 2 m³/s über einer Flachwasserzone in Flussmitte potentielle Habitate für juvenile Stadien strömungsliebender Fischarten (Abb. 17). Diese Zone hatte eine Breite von 4 m. Die angrenzende, 8 m breite Zone bis zur linken Prallhangseite bot mit Wassertiefen zwischen 0,4 - 0,6 m und Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 0,3 - 0,5 m/s potentielle Habitate für ältere Altersstadien rheophiler Fische. Geeignete Larvalhabitate rheophiler Fischarten waren in den flachen Uferbereichen auf der rechten Seite dagegen nicht vorhanden.

Das Querprofil 3, 101 Meter unterhalb des zweiten Wehres, markierte das Ende des zweiten Teilstückes der Ausleitungsstrecke (s.o.), in dem eine sichtbare Strömung im Fluss vorhanden ist. Hier fanden sich bei einem Abfluss von 2 m³/s in der 2,5 m breiten Flachwasserzone auf der rechten Uferseite keine geeigneten Habitatbedingungen für rheophile Jungfischlarven und Juvenile, da dort das Wasser stagnierte bzw. keine Strömungsgeschwindigkeit messbar war. Lediglich auf der linken Prallhangseite befand sich eine schmale Zone mit einer Breite von zwei Metern in einem Meter Tiefe, die aufgrund der Strömungsgeschwindigkeiten potentielle Habitate für adulte rheophile Fischarten bot.



Abb. 17: Querprofil 2 (unten) bei 2 m³/s mit potentiell überströmten Habitaten für rheophile juvenile Fischarten auf rechter Uferseite und Querprofil 3 (oben) mit weitgehend stagnierenden Abflussverhältnissen auf der rechten Uferseite.

Im dritten Abschnitt der Ausleitungsstrecke (Abb. 18), in dem eine Strömung im Fluss kaum sichtbar ist, fand sich bei einem Abfluss von 2 m³/s nur im Querprofil 4 (145 m unterhalb des zweiten Wehres) auf der linken Prallhangseite eine 4 Meter breite Zone mit Wassertiefen zwischen 1,15 - 1,25 m, die suboptimale Habitate für ältere Jahrgänge rheophiler Fische aufwies (Strömungsgeschwindigkeiten 0,2 - 0,3 m/s). Im restlichen, über 100 Meter langen Abschnitt fehlten diese Habitate bei den gegebenen Abflussbedingungen. Die einzige Flachwasserzone im Querprofil 7 (209 m unterhalb des zweiten Wehres) auf der linken Uferseite in der Steinschüttung war ebenfalls nicht durchströmt. Damit fehlten potentielle Larval- und Jungfischhabitate auch im unteren Teil der Ausleitungsstrecke.

Das Querprofil 8, unterhalb der Einmündung der Ausleitungsstrecke (Abb. 19), zeigte deutlich, dass es bei einem Abfluss von 2 m³/s in der Ausleitungsstrecke bei dem vorliegenden Gesamtabfluss keine nennenswerte Konkurrenzströmung aus der Ausleitungsstrecke für die Leitströmung aus der Turbine und damit zur FAA gab. Die Fließgeschwindigkeit des Ausstroms aus der Ausleitungsstrecke betrug zwischen 0,15 und 0,22 m/s. Die Leitströmung aus dem Turbinenkanal hingegen setzte sich in einem Abstand von 5 Metern vom linken Ufer mit einer Strömungsgeschwindigkeit von $\geq 0,6$ m/s deutlich von der Strömung aus der Ausleitungsstrecke ab.

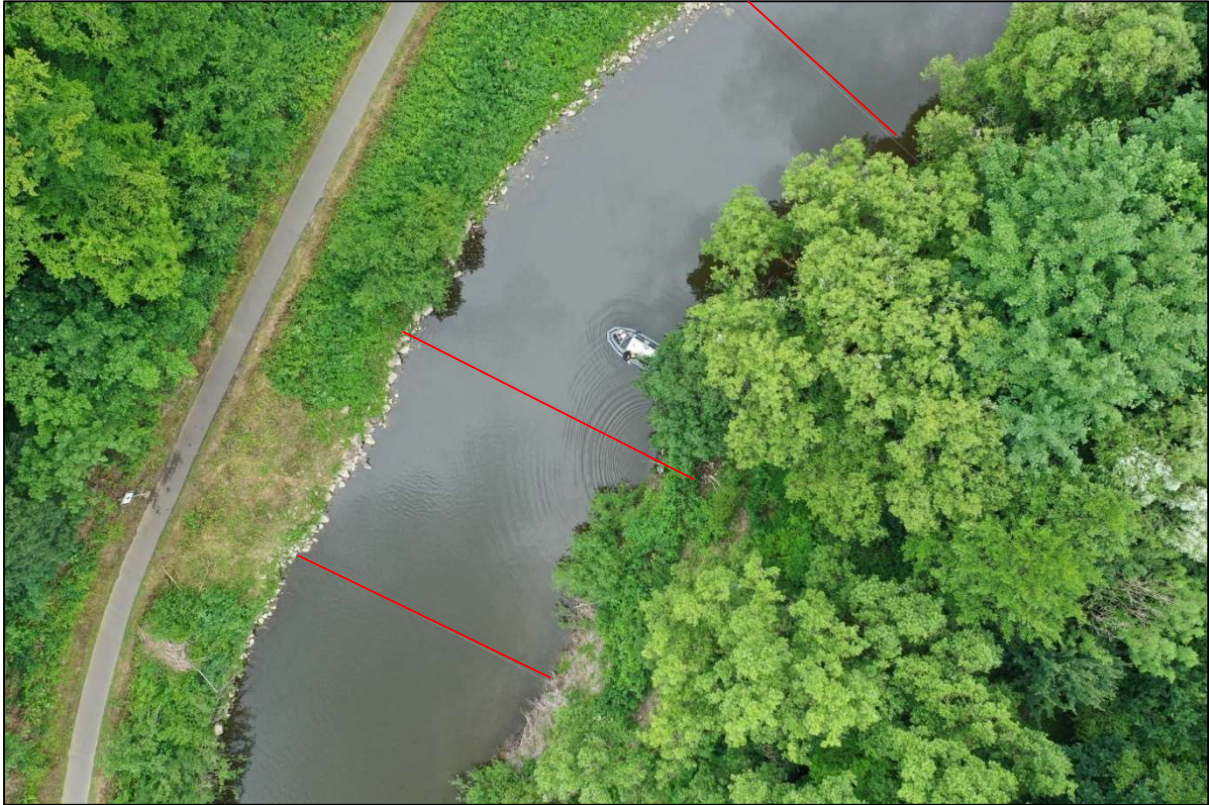


Abb. 18: Querprofile 4-6 bei mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten bei einem Abfluss von $2 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 19: Zusammenfluss der Ausleitungsstrecke mit Turbinenauslaufkanal bei $2 \text{ m}^3/\text{s}$ im Querprofil 8.

5.3.5 Abflussszenario B ($4 \text{ m}^3/\text{s}$)

Im zweiten Abschnitt der Ausleitungsstrecke, 30 m unterhalb des zweiten Wehres, führte der Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ zu einer Vergrößerung der Gewässerbreite von 9,5 m gegenüber Abflussszenario A. Dies lag an der Gerinnekontur in jenem Bereich, insbesondere an dem flachen Uferbereich mit Bucht auf Höhe der Kiesbank. Diese Kiesbank wurde bei einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ umspült, und es entstand eine zusätzliche Bucht hinter der Kiesbank am rechten Ufer (Abb. 20). Damit erweiterte sich der Lebensraum für aquatische Organismen in diesem Bereich deutlich. Allerdings entstanden dennoch weiterhin keine geeigneten Jungfischhabitate für strömungsliebende Fischarten in diesem Abschnitt, denn alle flachen Uferbereiche blieben weiterhin nicht ausreichend angeströmt. Auch der schmale Abschnitt in Nähe der linken Uferseite, der als potentiell Habitat für ältere rheophile Altersstadien identifiziert wurde (s.o.), vergrößerte sich bei einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht messbar.



Abb. 20: Kiesbank auf rechter Uferseite am Querprofil 1 wird bei einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ umspült, und eine zusätzliche Bucht entsteht.

Im Abschnitt 76 m unterhalb des zweiten Wehres (Querprofil 2, Abb. 20) wurden die potentiellen Habitate für juvenile rheophile Fischarten in Flussmitte, welche bei einem Abfluss von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ festgestellt wurden, durch den Wasserstandsanstieg zu tief und verschwanden. Dafür vergrößerten sich die potentiellen Habitate älterer Jahrgänge in der Flussmitte. Larval- oder Jungfischhabitate in Ufernähe entstanden in diesem Abschnitt weiterhin nicht. Der Fluss verbreiterte sich gegenüber dem Abfluss von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ an dieser Stelle lediglich um einen halben Meter, da an dieser Stelle steile Ufer vorliegen.



Abb. 21: Potentielle Flachwasserhabitate der Querprofile 2 (links) und 3 (Mitte) verschwinden bei einem Abfluss von 4 m³/s. Querprofil 4 (rechts) ändert sich kaum (s.u.).

Ähnlich waren die Verhältnisse im unteren Teil des zweiten Abschnitts (Querprofil 3, Abb. 21). Hier verbreiterte sich die Habitatzone für adulte rheophile Fische in der Flussmitte von 2 auf 6 Meter, mit einem leichten Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit um 0,1 m/s. Es entstanden keine Jungfischhabitate rheophiler Fischarten im Uferbereich, und der Fluss verbreiterte sich aufgrund des gestiegenen Wasserstandes um 4,5 Meter.

Im dritten Abschnitt der Ausleitungsstrecke (Querprofile 4 - 7) verbreiterten sich am Querprofil 4 die potentiellen Habitate adulter strömungsliebender Fischarten um 2 Meter im Vergleich zum Szenario mit 2 m³/s Abfluss, jedoch ohne dass die durchschnittliche Strömungsgeschwindigkeit nennenswert anstieg (Abb. 22). Der Fluss verbreiterte sich um einen Meter, und potentielle Aufwuchshabitate rheophiler Fischarten im Uferbereich fehlten weiterhin. Im nachfolgenden, 100 Meter langen Abschnitt bis zum Ende der Ausleitungsstrecke entstanden in Flussmitte schmale, potentiell suboptimal geeignete Habitatbereiche (Strömungsgeschwindigkeiten 0,17 - 0,28 m/s) für adulte rheophile Fische. Potentielle Jungfischhabitate dieser Arten in Ufernähe fehlten auch bei einem Abfluss von 4 m³/s, und der Fluss verbreiterte sich aufgrund seines steilen Trapezprofils nur geringfügig zwischen einem und zwei Metern. Die einzige Ausnahme bildete eine Bucht in der Steinschüttung im Querprofil 7 auf der linken Uferseite. Hier verbreiterte sich der Fluss gegenüber einem Abflussszenario von 2 m³/s um 2,3 Meter.



Abb. 22: Gleichförmiger Abfluss mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten im dritten Abschnitt der Ausleitungsstrecke bei einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Querprofile 4 bis 7 von links nach rechts).



Abb. 23: Zusammenfluss der Ausleitungsstrecke mit Turbinenauslaufkanal bei $4 \text{ m}^3/\text{s}$ im Querprofil 8.

Das Querprofil 8 wies bei einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 23) und dem gegebenen Lahnabfluss (rückstaubeinflusst) im Abstand von 5 m vom linken Ufer aus der Ausleitungsstrecke Strömungsgeschwindigkeiten von 0,25 bis 0,39 m/s auf. Damit könnte bei einer solchen Abflusssituation in geringem Maße eine rheotaktische Orientierung aufwandernder Fische in Richtung der Ausleitungsstrecke erfolgen, auch da im Übergangsbereich zur Strömung aus dem Turbinenkanal in einem Abstand von 5 bis 6 Metern Abstand vom linken Ufer die dortigen Strömungsgeschwindigkeiten mit 0,36 - 0,4 m/s nur geringfügig höher lagen. Allerdings setzte sich die Strömung in Flussmitte (ab 7 m Abstand vom linken Ufer) mit Strömungsgeschwindigkeiten von $> 0,7 \text{ m/s}$ sehr deutlich vom Ausstrom aus der Ausleitungsstrecke ab. Mit einer großen Anzahl fehlgeleiteter Fische wäre daher nicht zu rechnen, insbesondere nicht bei ausgeprägt rheophilen Fischarten.

5.3.6 Abflussszenario C ($6 \text{ m}^3/\text{s}$)

Bei einem Abfluss von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ verbreiterte sich das Gewässer im Bereich des Querprofils 1 gegenüber dem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ um 0,4 m und damit nur in geringem Maße (Abb. 24). Es kam dabei zu einer Verbreiterung der Bucht hinter der Kiesbank. Dort blieb die Strömung weiterhin stagnierend, und es entstanden keine überströmten Flachwasserbereiche in Ufernähe als potentielle Aufwuchshabitate für Jugendstadien rheophiler Arten. Lediglich die Strömung in potentiellen Habitaten für adulte strömungsliebende Fische in der Flussmitte nahm um 0,1 m/s zu und erreichte Geschwindigkeiten zwischen 0,36 und 0,5 m/s. Zudem verbreiterte sich dieses Areal um 2 Meter.



Abb. 24: Vergrößerung der Bucht hinter umspülter Kiesbank bei $6 \text{ m}^3/\text{s}$ in Höhe Querprofil 1.

Auf Höhe des Querprofils 2 kam es zu einer Verbreiterung des Flusses um zwei Meter gegenüber einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abb. 25). Die Strömungsgeschwindigkeiten in Flussmitte stiegen ebenfalls um $0,1 \text{ m/s}$ an und der potentielle Habitatbereich für rheophile Fischarten verbreiterte sich dort um zwei Meter. Im Uferbereich waren weiterhin keine Aufwuchshabitate für rheophile Fischarten zu finden. Dasselbe galt für den Flussabschnitt auf Höhe des Querprofils 3. Die potentiellen Habitate für rheophile Fischarten waren ähnlich wie im Profilabschnitt davor. Die angeströmten potentiellen Habitate in Flussmitte verbreiterten sich von 6 auf 12 Meter.



Abb. 25: Querprofile 2 und 3 bei einem Abfluss von $6 \text{ m}^3/\text{s}$.

Im dritten Abschnitt (Querprofile 4-7) der Ausleitungsstrecke waren bei $6 \text{ m}^3/\text{s}$ Abfluss (Abb. 26), im Gegensatz zu den vorher betrachteten Abflusszenarien, dauerhaft angeströmte Habitate für strömungsliebende Fischarten in Flussmitte vorhanden, deren Ausdehnung zwischen 6 und 14 Meter betrug. Die Fließgeschwindigkeiten lagen dort zwischen $0,3$ und $0,4 \text{ m/s}$. Allerdings entstanden, wie bei allen anderen Szenarien, weiterhin keine angeströmten Aufwuchshabitate für rheophile Arten in Ufernähe. Es kam aufgrund des Trapezprofils in diesem Abschnitt nur zu einer geringfügigen Verbreiterung des Flusses zwischen einem und zwei Meter im Vergleich zum Szenario mit einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$.



Abb. 26: Querprofile 5 bis 7 im dritten Abschnitt der Ausleitungsstrecke bei einem Abfluss von 6 m³/s.



Abb. 27: Zusammenfluss der Ausleitungsstrecke mit Turbinenauslaufkanal bei 6 m³/s im Querprofil 8.

Im Einmündungsbereich der Ausleitungsstrecke in den Turbinenauslaufkanal (Querprofil 8) traten Strömungsgeschwindigkeiten von 0,3 bis 0,6 m/s aus der Ausleitungsstrecke auf (Abb. 27). Die Geschwindigkeiten lagen damit nur knapp unter dem Niveau der Strömungsgeschwindigkeiten aus dem Turbinenauslaufkanal (0,5 - 0,7 m/s), dessen Einfluss auf Höhe des Einmündungsbereichs der Ausleitungsstrecke in 7 Meter Entfernung vom linken Ufer begann. Damit lag dieser Bereich, in dem ein aufwandernder Fisch die Strömung aus dem Turbinenauslaufkanal deutlich wahrnehmen konnte, an etwa derselben Position wie bei einem Abfluss von 4 m³/s aus der Ausleitungsstrecke. Insgesamt beträgt der Anteil der Leitwirkung hin zur Ausleitungsstrecke 24 % des Gewässerquerschnittes im Profil 8. Der restliche Anteil hat eine Leitströmung in Richtung Turbinen. Dennoch könnten Fische, die entlang der rechten Uferseite flussaufwärts wandern, unter diesen Bedingungen teilweise in die Ausleitungsstrecke einschwimmen und an der unpassierbaren Wehranlage den Aufstieg versuchen. Dies gilt jedoch nur, wenn der Rückstau in die Ausleitungsstrecke bei Niedrigwasserabfluss der Lahn sehr gering ist.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass durch eine Erhöhung des Mindestwasserabflusses keine Aufwuchshabitate für strömungsliebende Fischarten in Ufernähe entstehen. Dies dürfte sich auch bei Abflüssen unter 10 m³/s nicht ändern, da die gemessenen Geschwindigkeiten bei 6 m³/s im Randbereich immer noch äußerst gering waren. Selbst die Habitate für ältere Jahrgänge in Flussmitte bleiben bis zu einem Abfluss von 6 m³/s mit Strömungsgeschwindigkeiten unter 0,5 m/s suboptimal. Ab einem Abfluss von 4 m³/s entstehen allerdings Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0,3 m/s im unteren Teil der Ausleitungsstrecke in Flussmitte. Diese lösen eine rheotaktische Ausrichtung der Schwimmbewegungen von Fischen aus, die in die Ausleitungsstrecke hineingeschwommen sind und führen sie u.U. in Richtung der Wehre. Diese Zone verbreitert sich bei einem Abfluss von 6 m³/s deutlich.

Tab. 4: Wirkungen unterschiedlicher Abflüsse in der Ausleitungsstrecke auf Gewässerbreite und Habitatangebot für rheophile Fischarten. A – C: Abflussszenarien. * = Profil 8 lag unterhalb der Ausleitungsstrecke.

Profil	Gewässerbreite (m)			Pot. Habitat _{adult} (m)			Pot. Habitat _{juvenil} (m)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	23,9	32,5	32,9	4	4	6	0	0	0
2	20,4	21,0	23,0	8	10	12	4	0	0
3	16,8	21,3	21,7	2	6	12	0	0	0
4	17,0	18,0	20,0	4	6	8	0	0	0
5	16,9	18,3	19,0	0	2	8	0	0	0
6	16,4	19,1	20,5	0	2	14	0	0	0
7	17,6	19,9	20,0	0	6	4	0	0	0
8*	29,0	29,5	29,5	21,5	26	26	0	0	0

5.3.7 Zusammenfassung und Fazit

Zusammenfassend ergeben sich aus den vor Ort anzutreffenden Rahmenbedingungen sowie der vorhandenen Gerinnegeometrie, der ausgeprägten Strukturarmut in der Ausleitungsstrecke infolge starken Verbaus und dem Gefälle in Kombination mit verschiedenen Abflüssen in der Ausleitungsstrecke folgende Befunde:

1. Reproduktionspotential für rheophile Fischarten in der Ausleitungsstrecke.

Die Ausleitungsstrecke bietet auch bei höheren Mindestabflüssen ($6 \text{ m}^3/\text{s}$) für strömungsliebende Fischarten, wie z.B. der Leitfischart Barbe, keine ausreichenden Habitatbedingungen aus, damit lokal eine Reproduktion stattfinden kann. Bei Mittelwasserabflüssen (ca. $40 \text{ m}^3/\text{s}$) im Frühjahr ab April, bei denen potentiell ein Ablaichen strömungsliebender Fischarten (z.B. Nase, Hasel) im eher kiesgeprägten Abschnitt unterhalb des zweiten Wehres stattfinden könnte, wird der Rückstau der Lahn in die Ausleitungsstrecke sehr viel größer als an den Messtagen dieser Untersuchung erwartet. Damit sind auch die Strömungsgeschwindigkeiten sehr deutlich niedriger einzuschätzen, als sie in oben beschriebenen Querprofilen gemessen wurden. Diese geringen Strömungsgeschwindigkeiten bieten keine geeigneten Habitatbedingungen für einen Laichplatz strömungsliebender Arten. Selbst im Reproduktionszeitraum der Barbe, die in der Lahn bis in den Juli hinein laicht und damit ggf. bei ähnlich niedrigen Abflussbedingungen wie bei den Abflussmessungen die Ausleitungsstrecke aufsuchen könnte, finden sich vor Ort keine geeigneten Bedingungen zum Ablaichen. Im Falle des Einschwimmens aufwandernder, reproduktionswilliger Fische in die Ausleitungsstrecke kann diese also nicht die fehlende Durchgängigkeit durch potentielle Laichhabitate kompensieren.

2. Angebot an Habitaten für Larval- und Jungstadien rheophiler Fischarten.

Selbst bei Niedrigwasserbedingungen, und damit geringem Rückstau aus der Lahn in die Ausleitungsstrecke, entstehen für diese Arten auch bei einem Abfluss von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ keine ausgeprägten Habitate für Larval- und Jungfischstadien im Uferbereich. Daran würden auch deutlich höhere Mindestwasserabflüsse bis $10 \text{ m}^3/\text{s}$ wenig ändern, denn bei allen gemessenen Abflüssen lagen die Strömungsgeschwindigkeiten im Uferbereich deutlich unter $0,1 \text{ m/s}$. Nötig wären jedoch Geschwindigkeiten zwischen $0,1$ bis $0,3 \text{ m/s}$, um Aufwuchshabitate für strömungsliebende Arten zu bieten.

3. Angebot an Aufwuchshabitaten für Juvenilstadien rheophiler Fischarten.

Lediglich bei einem Mindestwasserabfluss von $2 \text{ m}^3/\text{s}$ entstehen, bei geringem Rückstau der Lahn in die Ausleitungsstrecke, partiell unterhalb des zweiten Wehres uferferne, flach überströmte Bereiche, die von strömungsliebenden Fischarten im Juvenilstadium als Aufwuchshabitate genutzt werden könnten. Gleichzeitig sind bei diesen Bedingungen auch strömungsarme (lotische), flache Teilhabitate vorhanden, die von Arten mit geringer Strömungspräferenz als Aufwuchshabitat (und auch von Adulten) genutzt werden können. Das Habitatangebot von Bereichen mit der

Kombination einer geringen Wassertiefe mit größerer Strömungsdiversität geht bei höheren Abflüssen durch den steigenden Wasserstand verloren. Die zusätzlich überstandenen Flächen sind durchweg nicht angeströmt und meist durch das steil abfallende Ufer zu tief für optimale Larval- und Juvenilhabitate rheophiler und eurytoper Fischarten (rechte Uferseite: Gebüsch mit ins Wasser hängenden Ästen und linke Uferseite: überstaute Steinschüttung).

4. Potential der Ausleitungsstrecke als Winterhabitat / Rückzugsraum bei Hochwasser.

Die strukturellen und hydraulischen Voraussetzungen der Ausleitungsstrecke für die Nutzung als Winterhabitat durch Fische sind nicht gegeben. Bei hohen Abflüssen im Winterhalbjahr wird das Schluckvermögen der Turbinen weit überschritten und ein Großteil des Lahnabflusses fließt im Winter durch die Ausleitungsstrecke. Bei Abschalten der Wasserkraftanlage bei einem stark gestiegenen Unterwasserstand fließt der gesamte Lahnabfluss durch die Strecke. Innerhalb der Ausleitungsstrecke existieren aufgrund des Gewässerausbaues keine größeren Buchten und Seitenarme, in denen sich Fische dem hydraulischen Stress entziehen und dort ein Winterquartier finden könnten. Lediglich die überschwemmte Strauch- und Baumvegetation auf der rechten Uferseite könnte temporär Deckungs- und Strömungsschutz bieten. Aufgrund der saisonalen Abflusscharakteristika der Lahn spielt der Mindestabfluss in den Wintermonaten für die Lebensraumfunktion von Fischen in der Ausleitungsstrecke jedoch eine untergeordnete Rolle.

5. Potentiell schlechtere Auffindbarkeit der FAA durch Konkurrenzströmung aus der Ausleitungsstrecke.

In Zeiträumen mit allgemein niedrigem Lahnabfluss und dem damit verbundenen geringen Rückstau in die Ausleitungsstrecke ist bei Abflüssen von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ die Leitwirkung für aufwärts wandernde Fische in Richtung FAA auf Höhe der Einmündung der Ausleitungsstrecke etwa gleich groß wie die Leitwirkung in die Ausleitungsstrecke. Es ist deshalb möglich, dass ein Teil der Tiere, besonders jene, welche entlang der rechten Uferseite aufwärtsschwimmen, in die Ausleitungsstrecke einschwimmen und damit für diese Fische ein Sackgasseneffekt entsteht. In den letzten Jahren haben sich die Niedrigwasserperioden auch verstärkt in die Herbst- und Wintermonate ausgedehnt, sodass diese Problematik hauptsächlich die Laichwanderungen der Salmoniden (Lachs, Meer- und Bachforelle) beeinflussen würde. Beim Auftreten niederschlagsarmer Perioden in April und Mai wären von dieser Sackgassenwirkung zahlreiche Cypriniden und die Perciden betroffen. Allerdings ist (aufgrund des geringen Gefälles in der Ausleitungsstrecke) bereits bei Lahnabflüssen geringfügig über Niedrigwasserabfluss der Rückstau in die Ausleitungsstrecke ausgeprägt und weitreichend. Deshalb wäre selbst bei $6 \text{ m}^3/\text{s}$ Mindestabfluss in aller Regel nicht mit einer relevanten Konkurrenzleitströmung in die Ausleitungsstrecke zu rechnen. Der Sackgasseneffekt durch hohe Mindestwasserabflüsse in der Ausleitungsstrecke hat daher für die Festlegung des Mindestwasserabflusses eine nachgeordnete Bedeutung.

5.3.8 Fischbestände im Unterwasser des Ausleitungswehres der WKA Kirschhofen

5.3.8.1 Referenzichthyozönose

Der Fischbestand in diesem Abschnitt der Lahn (Barbenregion) wäre, unter Bezug auf die Referenzzönose 9.2 A nach fiBS, in idealtypischer Ausprägung artenreich (33 Fischarten, davon 11 typspezifische Arten mit Abundanzanteil ≥ 1 %) und von rheophilen Fischarten (89,9 % Abundanzanteil) geprägt, welche größtenteils (> 75 % der Individuen) zu den Kieslaichern (lithophil) zählen. Diese Eigenschaften treffen weitgehend auch auf die sechs häufigsten der sieben Leitarten zu: Nase (*Chondrostoma nasus*, 20 % Abundanzanteil in der Referenzzönose), Flussbarbe (*Barbus barbus*, 15 %), Schneider (*Alburnoides bipunctatus*, 15 %), Döbel (*Squalius cephalus*, 12 %), Gründling (*Gobio gobio*, 8 %, psammophil) und Hasel (*Leuciscus leuciscus*, 8 %). Lediglich das Rotaugen (*Rutilus rutilus*, 6 % Abundanzanteil in der Referenzzönose) ist hinsichtlich der Strömungspräferenz indifferent und phyto-lithophil. Von den o.g. 33 Fischarten zählen vier zu den Langdistanzwanderern (lediglich 0,4 % Abundanzanteil) und drei zu den Mitteldistanzwanderern (35,1 % Abundanzanteil). Die Eigenschaften dieser Referenzichthyozönose zeigen klar, dass die Lahn in diesem Abschnitt natürlicherweise von ausgeprägter Strömung, kiesigem Untergrund und hoher Durchgängigkeit geprägt wäre.

5.3.8.2 Datenerfassung

Zur ichthyologischen Charakterisierung des Standorts der WKA Kirschhofen wurde der Fischbestand an zwei Terminen (08.05.2020 und 27.08.2020) mittels Elektrobefischungen erfasst. Dabei wurden flache Bereiche (insbesondere zwischen den beiden Wehren sowie im oberen Teil der Ausleitungsstrecke) flächendeckend bewatet, in tieferen Abschnitten erfolgten die Befischungen vom Boot aus. Zum Einsatz kamen dabei Elektrofischfängergeräte der Firma Bretschneider (EFGI 650 bei Watbefischungen, EFGI 4000 bei Bootsbefischungen). Die Tiere werden dabei galvanotaktisch angelockt und ggf. kurz betäubt, so dass sie auf Artniveau bestimmt werden können und ihre Totallängen abgeschätzt werden können. Eine Entnahme oder Händelung ist dadurch in aller Regel nicht notwendig, so dass diese Art der Erfassung als besonders schonend betrachtet werden kann. Aufgrund der ähnlichen Zusammensetzungen der Befischungsergebnisse von Mai und August 2020 wurden die Befischungsergebnisse beider Termine zusammengefasst (Befischungsergebnisse s. Anhang).

Im Zuge des vorliegenden Gutachtens wurden vier Abschnitte im Unterwasser des Ausleitungswehres der WKA Kirschhofen getrennt befischt. Ein ca. 400 m Abschnitt der Lahn, welcher unterhalb des Zusammenflusses aller Abflusswege im Bereich der WKA lag, wurde als Referenz für den lokalen Fischbestand im Gewässer untersucht. Aufgrund der hohen Gewässerbreite wurden in diesem Abschnitt lediglich beide Ufer abgefischt, die anderen Abschnitte wurden flächendeckend erfasst. Im Bereich der Ausleitungsstrecke lagen zwei Untersuchungsabschnitte, zum einen der Bereich zwischen den beiden Wehren und zum anderen der Abschnitt vom unteren Wehr bis zum Zusammenfluss von Ausleitungsstrecke und Turbinenauslaufkanal. Diese Abschnitte waren von besonderem Interesse für die Einschätzung der Lebensraumfunktion der Ausleitungsstrecke für die lokal vorhandene

Fischfauna. Als vierter Abschnitt wurde der Turbinenkanal befischt, also der Bereich zwischen dem Zusammenfluss von Ausleitungsstrecke und Turbinenauslauf und den Turbinen; dieser Abschnitt beinhaltete auch den Einstieg in die FAA.

5.3.8.3 Fischbestand der Lahn unterhalb der WKA Kirschhofen

Bei der Erfassung des Fischbestands unterhalb des Zusammenflusses aller Abflusswege im Bereich der WKA wurden insgesamt 2.200 Individuen von 17 Fischarten nachgewiesen (Abb. 27). Aufgrund der ähnlichen Zusammensetzungen der Befischungsergebnisse von Mai und August 2020 wurden die Befischungsergebnisse beider Termine zusammengefasst. Zwei der elf typspezifischen Fischarten fehlten gänzlich: Schneider (Leitart) und Äsche (*Thymallus thymallus*). Drei der nachgewiesenen Arten gehörten nicht der Referenzzönose an; davon erreichte die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*, Abb. 31 links) als sechsthäufigste hohe Dichten (8,4 % des Gesamtfangs), während Wels (*Silurus glanis*, Abb. 31 rechts) und Rapfen (*Aspius aspius*) nur vereinzelt nachgewiesen wurden.

Die häufigsten Fischarten des lokalen Fischbestands waren Rotauge (654 Individuen, 29,7 % des Gesamtfangs), Gründling (482, 21,9 %), Ukelei (288, 13,1 %), Bitterling (215, 9,8 %) und Döbel (207, 9,4 %) (Abb. 28).

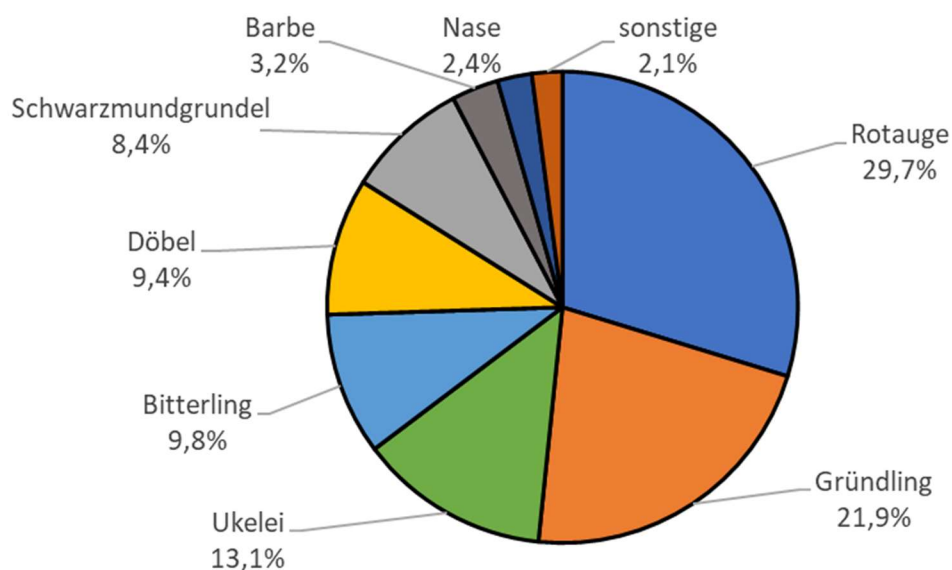


Abb. 28: Fischbestand der Lahn im Unterwasser der WKA Kirschhofen (Daten von Mai und August 2020 zusammengefasst).

Insgesamt war die lokale Ichthyozönose der Lahn, im Gegensatz zur Referenzzönose, von hinsichtlich ihrer Strömungspräferenzen indifferenten Arten geprägt. Mit acht von 17 Arten stellten sie gleich viele Arten wie die ökologische Gruppe der Rheophilen (eine stagnophile Art), allerdings überwogen diese bei den Individuenzahlen (61,7 %) deutlich. Die anadromen Langdistanzwanderarten der Referenzzönose fehlten gänzlich, die einzige nachgewiesene (katadrome) Langdistanzwanderart war der in der Lahn ausschließlich besetzte Aal. Auch die Mitteldistanzwanderarten fehlten (Quappe) oder waren im lokalen Fischbestand deutlich

(Nase, Barbe, Abb. 29 rechts) gegenüber der Referenzzönose unterrepräsentiert. Erwähnenswert ist die hohe Anzahl an Bitterlingen (Abb. 29 links), welche in Anhang II der FFH-RL gelistet sind.

Der lokale Fischbestand der Lahn unterhalb der WKA Kirschhofen muss als verarmt und degradiert eingeordnet werden. Anthropogene Überprägungen des Flusses (u.a. Ausbau, Aufstau, mangelnde Durchgängigkeit, Einführung gebietsfremder Arten) haben die Fischgemeinschaft erheblich von einer artenreichen, strömungsgeprägten Gemeinschaft hin zu einer von generalistischen Arten dominierten Gemeinschaft mit eingeschränkter Migration verschoben.



Abb. 29: Elektrofischungsergebnisse. Links: nach FFH-RL geschützte Bitterlinge. Rechts: Leitfischart Barbe.

5.3.8.4 Fischbestand des Turbinenkanals unterhalb der WKA

Der Fischbestand in dem Abschnitt zwischen dem Zusammenfluss von Ausleitungsstrecke und Turbinenkanal und den Turbinenausläufen ähnelte in seiner Artenzusammensetzung weitgehend dem Fischbestand der Lahn im Unterwasser der WKA (Abb. 30). Von den neun nachgewiesenen Arten entsprachen acht Arten den acht häufigsten Arten des lokalen Fischbestands in der Lahn, lediglich ein Einzelexemplar der Brasse (*Abramis brama*), welche im darunter gelegenen Lahnabschnitt nicht nachgewiesen wurde, kam hinzu. Die deutlich geringere Anzahl nachgewiesener Fischarten im Vergleich zur Lahn ist vermutlich auf die geringere befischte Fläche und die größeren Wassertiefen zurück zu führen.

Im Vergleich zum untersuchten Lahnabschnitt waren die Dominanzverhältnisse deutlich zugunsten rheophiler Fischarten verschoben (49,3 %), bezüglich der Strömung indifferente Arten stellten jedoch auch hier den höheren Anteil an Individuen (50,7 %) und Arten (sechs von neun). Verglichen mit der Referenzzönose war das Artenspektrum, trotz der Strömung aus den Turbinen, auch hier deutlich weniger stark von rheophilen Arten geprägt als in der Referenzzönose.

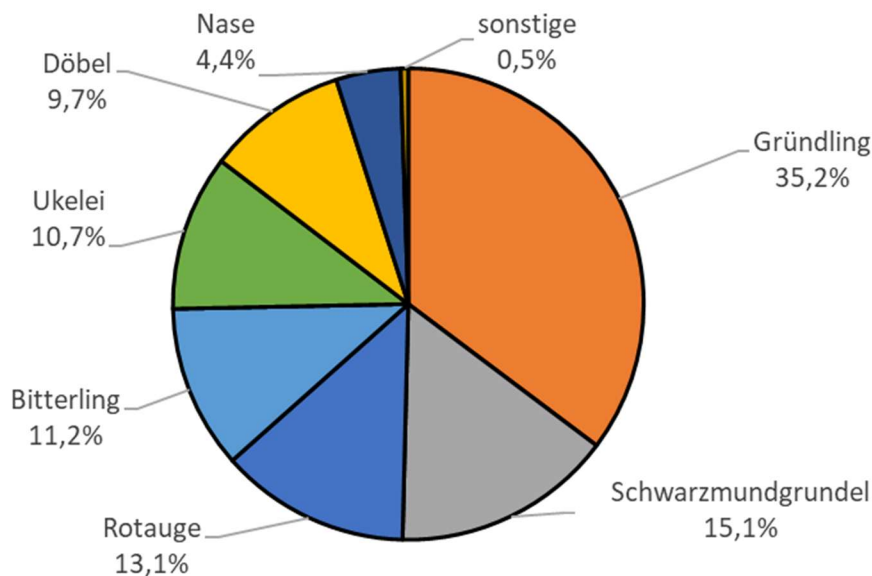


Abb. 30: Fischbestand des Turbinenkanals im Unterwasser der WKA Kirschhofen (Daten von Mai und August 2020 zusammengefasst).



Abb. 31: Elektrofischungsergebnisse – gebietsfremde Arten. Links: Schwarzmundgrundel. Rechts: Wels.

5.3.8.5 Fischbestand in der Ausleitungsstrecke unterhalb der Wehre

Bei der Erfassung des Fischbestands der Ausleitungsstrecke unterhalb des zweiten Wehres wurden insgesamt 2.375 Individuen von 18 Fischarten nachgewiesen (Abb. 33). Die Erfassungstiefe war im Vergleich zum Referenzabschnitt der Lahn höher, da flache Bereiche bewarbar waren und die Befischung flächendeckend erfolgte. Drei der elf typspezifischen Fischarten fehlten gänzlich: Schneider (Leitart), Hasel (Leitart) und Äsche. Von den gebietsfremden Arten erreichte die Schwarzmundgrundel als dritthäufigste Art sehr hohe Dichten in der Ausleitungsstrecke, neben dem Wels wurde in der Ausleitungsstrecke auch der Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernuus*) vereinzelt nachgewiesen.



Abb. 32: Elektrofischungsergebnisse – typische nicht strömungsliebende Arten. Links: Eurytoper Flussbarsch (*Perca fluviatilis*). Rechts: stagnophile Schleie (*Tinca tinca*).

Die häufigsten Fischarten der Ausleitungsstrecke waren Rotaugen (579 Individuen, 24,4 % des Gesamtfangs), Gründling (402, 16,9 %), Schwarzmundgrundel (318, 13,4 %), Döbel (254, 10,7 %) und Bitterling (248, 10,4 %) (Abb. 33).

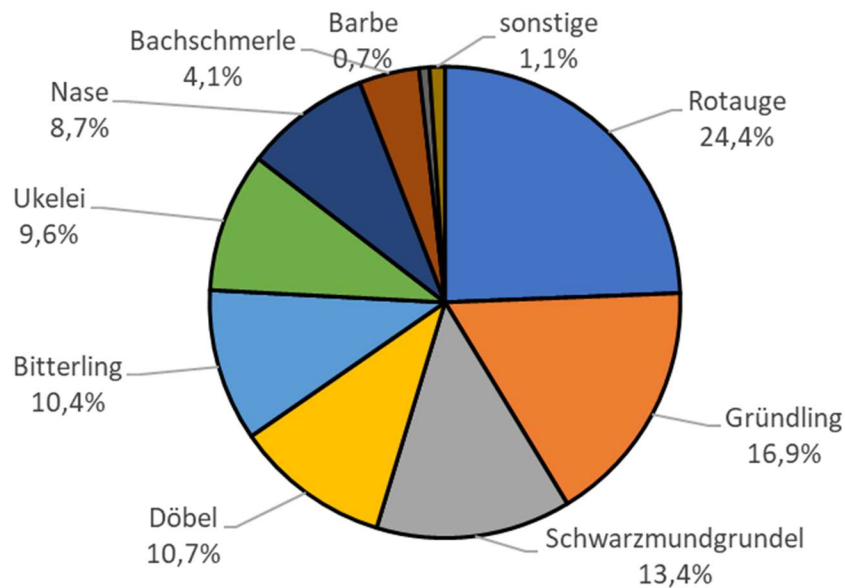


Abb. 33: Fischbestand der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen im Unterwasser des zweiten Wehres (Daten von Mai und August 2020 zusammengefasst).

Auch in der Ausleitungsstrecke war die lokale Ichthyozönose von hinsichtlich ihrer Strömungspräferenzen indifferenten Arten geprägt. Mit neun von 18 Arten stellten sie die größte ökologische Gruppe (acht rheophile Arten, eine stagnophile Art) und überwogen auch bei den Individuenzahlen (58,2 %) ähnlich deutlich wie in dem untersuchten Lahnabschnitt.

5.3.8.6 Fischbestand in der Ausleitungsstrecke zwischen den Wehren

Der Fischbestand im Abschnitt zwischen den beiden Wehren ist anders zu bewerten als die Fischbestände der anderen Streckenabschnitte, da er sich aufgrund der nicht gegebenen aufwärts gerichteten Durchgängigkeit ausschließlich aus von oberhalb des Ausleitungswehres

eingedrfteten Individuen rekrutierte. Es ist nicht davon auszugehen, dass der Abschnitt von den nachgewiesenen Arten dauerhaft besiedelt wird, und es muss weiterhin vermutet werden, dass bei starken Abflussanstiegen über das Ausleitungswehr ein erheblicher Anteil der Tiere über das untere Wehr abdriftet, während von flussaufwärts weitere Tiere eindriften. Derzeit ist der Abstiegsweg über das Ausleitungswehr der einzige bedeutende und dauerhaft funktionale Fischabstiegsweg der WKA Kirschhofen. Somit kann die Erfassung des Fischbestands zwischen den Wehren Informationen über das Einwanderungspotential von Fischarten aus dem Oberwasser der WKA in die Ausleitungsstrecke liefern.



Abb. 34: Elektrofischungsergebnisse – typische strömungsliebende Arten. Links: Leitart Nase. Rechts: Leitart Hasel.

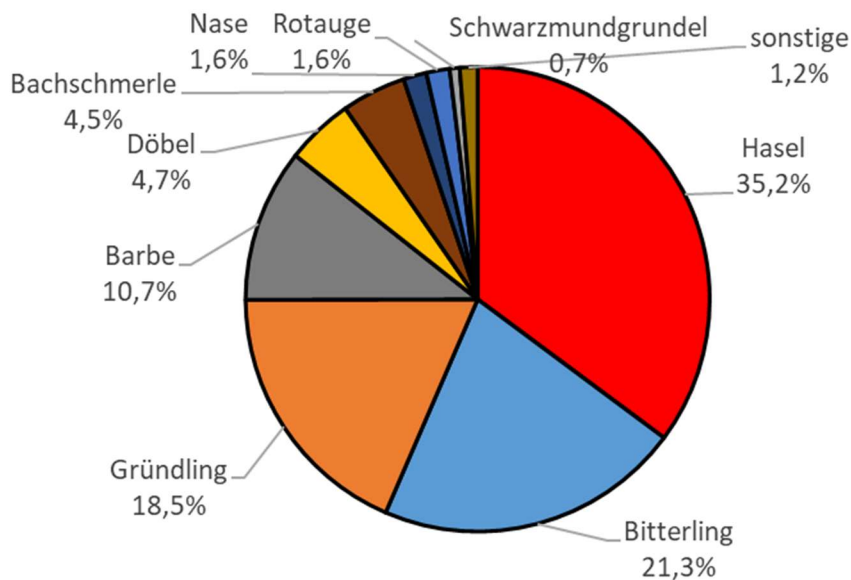


Abb. 35: Fischbestand der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen im Bereich zwischen den Wehren (Daten von Mai und August 2020 zusammengefasst).

Die Fischartengemeinschaft zwischen den beiden Wehren unterschied sich deutlicher von den anderen untersuchten Streckenabschnitten (Abb. 35). Rheophile Fischarten machten in diesem Abschnitt einen Individuenanteil von 76,3 % aus, stagnophile Arten fehlten hingegen. Insbesondere wurde dort eine hohe Individuenanzahl der rheophilen Leitfischart Hasel

nachgewiesen (455 Individuen, Abb. 34 rechts), während in den anderen drei untersuchten Streckenabschnitten insgesamt nur 6 Hasel gefangen wurden (alle in der Lahn unterhalb der WKA). Auch der hohe Anteil an Barben (größtenteils der Kohorte 1+) im Vergleich zu den anderen Abschnitten war bemerkenswert. Bei allen häufigeren rheophilen Fischarten lag der Anteil an Jungfischen (Kohorten 0+ und 1+) wesentlich höher als in den anderen untersuchten Abschnitten (s. Befischungsergebnisse im Anhang).

Generell kann auf Grundlage der erfassten Fische zwischen den Wehren vermutet werden, dass oberhalb des Standorts der WKA Kirschhofen bedeutende Reproduktionshabitate für lithophile rheophile Fischarten liegen, wie z.B. die Leitarten Barbe, Nase, Hasel. Daraus resultiert für diese Arten ein hohes Besiedlungspotential für die Ausleitungsstrecke.

5.3.8.7 Fazit

Die Befischungsergebnisse in den vier Untersuchungsabschnitten zeigen, dass die Fischfauna verarmt und von hinsichtlich ihrer Strömungspräferenz indifferenten, generalistischen Arten gekennzeichnet ist. Auch Mängel in der Durchgängigkeit wurden von der Zusammensetzung der Ichthyozönose offenbar. Sowohl die Ausleitungsstrecke als auch der unterhalb der WKA gelegene Lahnabschnitt wiesen die beschriebenen Charakteristika auf.

Diese Befunde lassen sich nicht ausschließlich oder insbesondere auf einen lokalen Effekt der WKA Kirschhofen zurückführen, vielmehr spiegelt sich der regional hohe Ausbaugrad der Lahn mit vielen Staustufen und Wanderhindernissen in der Fischfauna wider. Ein Besiedlungspotential durch strömungsliebende, für diesen Lahnabschnitt natürlicherweise zu erwartende Fischarten aus dem Oberwasser ist jedoch weiterhin vorhanden. Es ist zu vermuten, dass die in der Ausleitungsstrecke nachgewiesenen Jungfische strömungsliebender Arten ebenfalls über die Wehre eingedrftet wurden und sich nicht aus lokaler Reproduktion rekrutierten.

Aus fischökologischer Perspektive wäre die Schaffung geeigneter Lebensräume für rheophile Fischarten in der Ausleitungsstrecke daher essentiell. Im Umfeld der WKA herrscht aufgrund des hohen Ausbaugrads ein klarer Mangel an kiesigen, flach überströmten Bereichen. Auch geeignete Reproduktionshabitate für die Leitfischarten sind nicht vorhanden. Da es jedoch aufgrund der Erkenntnisse zur Hydrologie in der Ausleitungsstrecke (Kap. 5) mehr als herausfordernd erscheint, über die Wahl eines entsprechend hohen Mindestabflusses großflächige, dauerhafte Habitate für strömungsliebende Arten zu etablieren, sollte bei der Ermittlung des Mindestabflusses in die Ausleitungsstrecke der Fokus stärker auf der Durchgängigkeit der WKA liegen. Oberhalb der WKA Kirschhofen scheinen wichtige Laichplätze für kieslaichende, strömungsliebende Leitarten zu bestehen, während unterhalb der WKA über weite Strecken keine optimalen Reproduktions- oder Ganzjahreshabitate für Adultstadien vieler dieser Arten vorhanden sind.

5.3.9 Mollusken

Zur Erfassung der vorhandenen Arten an Binnenmollusken wurde in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen am 08.05.2020 eine Übersichtskartierung durchgeführt. Hierfür wurden die Ufer- und Flachwasserbereiche in 10 m langen Transekten jeweils ober- und unterhalb der Querprofile abgegangen. Dabei wurden alle Arten visuell erfasst und deren relative Häufigkeit innerhalb des jeweiligen Transekts geschätzt. Im Zuge der Abflussmessungen am 29.06.2021 und 30.06.2021 wurde zudem die Habitatverfügbarkeit für die erfassten Arten bei verschiedenen Abflusszuständen (2, 4 und 6 m³/s) abgeschätzt. Die Habitatverfügbarkeit für Binnenmollusken wird im Wesentlichen durch den Substrattyp (Muscheln - Kl. Bivalvia), die Ufer- und Wasservegetation (Schnecken - Kl. Gastropoda) und die Strömungsgeschwindigkeit (Muscheln und Schnecken) begrenzt. Daher wurden die Transekte mit keiner bzw. geringer Habitatverfügbarkeit (keine Vegetation; hohe Strömungsgeschwindigkeiten; steiniges Substrat) verworfen und die Transekte mit mittlerer bzw. hoher Habitatverfügbarkeit (kiesiges, sandiges und schlammiges Substrat; vorhandene Ufer- und Wasservegetation; keine bis geringe Strömungsgeschwindigkeiten) zusammengefasst.



Abb. 36: Mollusken in der Ausleitungsstrecke. Links: Teichmuschel. Rechts: Schalen von Körbchenmuscheln und Sumpfdeckelschnecken.

Durch die Übersichtskartierung konnten in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen insgesamt vier Muschelarten und eine Schneckenart nachgewiesen werden. Drei der vier Muschelarten (*Anodonta anatina* L., *Anodonta cygnea* L. und *Unio pictorum* L.) sind nach nationaler Gesetzgebung (Bundesnaturschutzgesetz bzw. Bundesartenschutzverordnung) geschützt. Zudem liegt für diese Arten eine Einstufung in die Rote Liste Deutschland (Jungbluth & Knorre, 2011) und Rote Liste Hessen (Jungbluth, 1995) vor (Tab. 5). Des Weiteren konnte die Stumpfe Sumpfdeckelschnecke (*Viviparus viviparus* L.) in der Ausleitungsstrecke nachgewiesen werden. Die Art ist weder nach nationalem noch europäischem Recht geschützt, die Art steht jedoch sowohl auf der Roten Liste Deutschland als auch der Roten Liste Hessen und gilt nach beiden Listen als *stark gefährdet*. Zudem wurde die Grobgerippte Körbchenmuschel (*Corbicula fluminea* O. F. MÜLLER) in der Ausleitungsstrecke nachgewiesen, welche in Deutschland den Status der etablierten Neobiota innehat.

Tab. 5: Artenliste auf Basis der Übersichtskartierung vom 08.05.2020. Es sind der jeweilige Gefährdungsstatus in der Bundesrepublik Deutschland (RL BRD – Jungbluth & Knorre, 2011), in Hessen (RL HE – Jungbluth, 1995) sowie der Schutzstatus gemäß Bundesnaturschutzgesetz und Bundesartenschutzverordnung (§: besonders geschützt; §§: streng geschützt) angegeben.

Muscheln (Bivalvia)	RL BRD	RL HE	BNatschG bzw. BArtSchV
Gemeine Teichmuschel (<i>Anodonta anatina</i> L.)	V	V	§ / §
Große Teichmuschel (<i>Anodonta cygnea</i> L.)	3	2	§ / §
Malermuschel (<i>Unio pictorum</i> L.)	V	3	§ / §
Grobgerippte Körbchenmuschel (<i>Corbicula fluminea</i> O. F. MÜLLER)	-	-	-
Schnecken (Gastropoda)			
Stumpfe Sumpfdeckelschnecke (<i>Viviparus viviparus</i> L.)	2	2	-

Die geschätzte Artenverteilung in den 10 m-Transekten auf der rechten Uferseite (Querprofil 1 – 7) variierte stark in Abhängigkeit vom vorherrschenden Substrat und der Ufer- und Wasservegetation. Während in den Bereichen unterhalb des Wehrkörpers (Querprofile 1 – 3) die Grobgerippte Körbchenmuschel (*C. fluminea*) dominiert, nimmt mit zunehmender Ufervegetation der relative Anteil der Stumpfen Sumpfdeckelschnecke (*V. viviparus*) durch eine zunehmende Habitatverfügbarkeit zu (Abb. 37). Die gegenüber Umweltbedingungen etwas tolerantere Gemeine Teichmuschel (*A. anatina*) war im Vergleich zu den anderen heimischen Muschelarten, der Gemeinen Teichmuschel (*A. cygnea*) und der Malermuschel (*U. pictorum*), in allen 10 m-Transekten etwas häufiger vertreten.

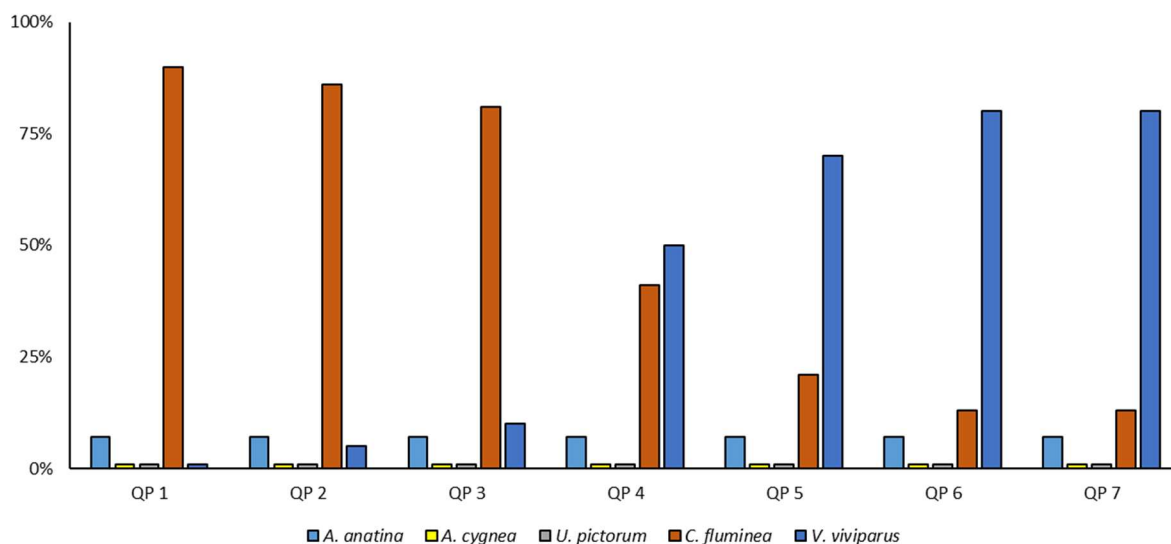


Abb. 37: Geschätzte relative Häufigkeiten der Arten innerhalb der 10 m-Transekten auf der rechten Uferseite. Die 10 m-Transekte der linken Uferseite und das gesamte Querprofil 8 sind auf Grund mangelnder Habitatverfügbarkeit nicht dargestellt.

Das vorherrschende Substrat auf der linken Uferseite (Prallhang) in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen sind Blöcke und Steine. In der Steinschüttung selbst findet sich kaum für

Muscheln zum Eingraben geeignetes Feinsubstrat, lediglich die innerhalb der Steinschüttung vorhandene Ufervegetation bietet etwas Lebensraum für die Stumpfe Sumpfdeckelschnecke (*V. viviparus*). Allerdings sind die stark erhöhten Strömungsgeschwindigkeiten, welche im Zuge von Hochwasserereignissen oder bei abgeschalteter Turbine auf der Prallhangseite auftreten, ungeeignet für stagnophile Binnenmollusken. Für die an Feinsubstrat gebundenen Muscheln entfällt somit die gesamte linke Uferseite als Habitat und blieb bei der Abschätzung der Auswirkung verschiedener Abflusszustände unberücksichtigt.

Das vorherrschende Substrat im Bereich der Querprofile 1 – 3 auf der rechten Uferseite (Gleithang) ist überwiegend sandig bzw. kiesig, im Bereich der Querprofile 4 – 7 wird das Substrat auf Grund der zunehmenden Distanz zum unteren Wehrkörper eher schlammig. Die rechte Uferseite der Ausleitungsstrecke ist durch langsame Strömungsgeschwindigkeiten bzw. stagnierendes Wasser gekennzeichnet. Ab Querprofil 2 verengt sich zudem das Flussbett und eine dichte Ufervegetation grenzt bei höheren Wasserständen direkt an die Lahn an. Die rechte Uferseite im Bereich der Querprofile 1 – 7 ist somit durch eine mittlere bzw. hohe Habitatverfügbarkeit für stagnophile Binnenmollusken gekennzeichnet. Die abiotischen Bedingungen im Bereich des Querprofils 8 auf der rechten Uferseite sind stark durch den Turbinenkanal beeinflusst. Durch die hohen Strömungsgeschwindigkeiten und grobe Substrate (Steine und Blöcke) ist die Habitatverfügbarkeit für stagnophile Binnenmollusken als gering einzustufen und wird daher, wie die gesamte linke Uferseite, nicht berücksichtigt.

Tab. 6: Erfasste Binnenmollusken in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen und die Auswirkung verschiedener Abflüsse (2, 4 und 6 m³/s) auf die einzelnen Arten (++ = profitiert stark; + = profitiert geringfügig; / = keine nennenswerten Auswirkungen).

Muscheln (Bivalvia)	2 m³/s	4 m³/s	6 m³/s
Gemeine Teichmuschel (<i>A. anatina</i>)	++	+	/
Große Teichmuschel (<i>A. cygnea</i>)	++	+	/
Malermuschel (<i>U. pictorum</i>)	++	+	/
Grobgerippte Körbchenmuschel (<i>C. fluminea</i>)	+	++	++
Schnecken (Gastropoda)	2 m³/s	4 m³/s	6 m³/s
Stumpfe Sumpfdeckelschnecke (<i>V. viviparus</i>)	++	+	+

Bei einem eingestellten Abfluss von 2 m³/s in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen ist während der kritischen Niedrigwasserperioden mit einer signifikanten Verbesserung des Lebensraums zu rechnen (Tab. 6). Auf der rechten Uferseite (Querprofile 1 – 7) werden Bereiche überflutet, die bisher trockenlagen. Darüber entstehen neue, strömungsberuhigte Bereiche, die als Lebensraum für Binnenmollusken, insbesondere die einheimischen Muschelarten, potentiell geeignet sind. Bei einem eingestellten Abfluss von 4 m³/s und 6 m³/s profitiert die nach der Roten Liste BRD und Roten Liste Hessen als *stark gefährdet* eingestufte Stumpfe Sumpfdeckelschnecke (*V. viviparus*) in geringem Ausmaß zusätzlich. Durch die höheren Wasserstände wird mehr Ufervegetation (bspw. *Salix spec.*) überflutet und steht somit als potentieller Lebensraum für die Art zur Verfügung. Durch den verengten Lauf der

Lahn ab Querprofil 2 und das trapezförmige Uferprofil ist bei einem eingestellten Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6 \text{ m}^3/\text{s}$ jedoch mit keinem signifikanten Zuwachs an Habitat für die einheimischen Muschelarten zu rechnen. Im Bereich des Querprofils 1 unterhalb des Wehrkörpers auf der rechten Uferseite kommt ab einem Abfluss von $4 \text{ m}^3/\text{s}$ zwar eine größere Fläche an potentielltem Muschelhabitat (kiesiges Substrat; geringe Strömungsgeschwindigkeit) hinzu. Jedoch sind auch bei einem Abfluss von $6 \text{ m}^3/\text{s}$ die Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertiefen dort so gering, dass insbesondere in den Sommermonaten mit einem starken Aufheizen der neu hinzugekommenen Flachwasserzonen zu rechnen ist. Lediglich die als Neozoon gelistete Grobgerippte Körbchenmuschel (*C. fluminea*) könnte davon profitieren, da diese eine Präferenz für wärmere Gewässer zeigt (s. Tab. 6). Dieser neu hinzugekommene Lebensraum ist jedoch für die einheimischen Muschelarten ungeeignet, da diese im Gegensatz zu *C. fluminea* bei höheren Wassertemperaturen ($> 25 \text{ }^\circ\text{C}$) geschädigt werden.

Während der kritischen Niedrigwasserperioden würde ein eingestellter Abfluss von $> 2 \text{ m}^3/\text{s}$ nicht zwangsläufig zu einer signifikanten Verbesserung der vorhandenen Habitate oder einem Zuwachs an Habitaten für die gesetzlich geschützten Muschelarten (*A. anatina*, *A. cygnea* und *U. pictorum*) führen. Lediglich *V. viviparus* scheint von höher eingestellten Abflüssen (4 und $6 \text{ m}^3/\text{s}$) zu profitieren, da die überflutete Ufervegetation einen wichtigen Teillebensraum der Art darstellt. Jedoch sind hierbei $2 \text{ m}^3/\text{s}$ dennoch ausreichend, um einen signifikanten Zuwachs an Lebensräumen für diese Art zu gewährleisten und eine Verschlechterung des Erhaltungszustands auszuschließen.

5.4 Hydrologische Auswirkungen der Wasserführung auf das Habitatangebot für rheophile Fischarten im Oberwasser

Bei einer Regulierung des Mindestwasserabflusses über den Wehrüberfall ginge eine Erhöhung des Mindestabflusses durch die Ausleitungsstrecke mit einer Erhöhung der Einstauhöhe einher. Ein erhöhtes Stauziel würde wiederum zu einer Verlängerung der Länge des Einstaus der Lahn im Oberwasser der WKA Kirschhofen führen. Da der Mindestabfluss in die Ausleitungsstrecke aufgrund der Kronenkontur nicht direkt linear mit der Einstauhöhe zusammenhängt, sondern wie in der Abflusskurve (Q-h Linie, s. Kap. 3, Abb. 11) dargestellt angenommen werden muss, kann die zu erwartende Veränderung der Staulänge in Abhängigkeit vom angestrebten Mindestabfluss aus der Abflusskurve hergeleitet werden.

Die Verlängerung der Länge des Einstaus der Lahn führt jedoch nicht dazu, dass im gleichen Maße Lebensräume für rheophile Fische verloren gehen. Die strömungsbremsende Wirkung des Aufstaus folgt einer asymptotischen Beziehung und verliert mit zunehmender Entfernung zum Staupunkt überproportional an Kraft. Durch die Abhängigkeit der Einstaulänge vom Lahnabfluss schwankt die Länge des Einstaus zudem erheblich. Gleichwohl ist die grundsätzliche Berücksichtigung eines negativen Einflusses eines höheren Stauziels auf das Habitatangebot für rheophile Fischarten im Oberwasser der WKA für die Abwägung der positiven und negativen Folgen verschiedener Mindestabflussszenarien hilfreich, auch wenn sie schwer quantifizierbar ist.

6 Durchgängigkeit der WKA in Abhängigkeit von der Mindestwasserführung

6.1 Durchgängigkeit der WKA für aufwandernde Fische

Die Möglichkeit einer aufwärts gerichteten Wanderung von Fischen stellt eine sehr wichtige Funktion des Fließgewässers dar. Viele Fischarten zeigen im Zusammenhang mit ihrem Reproduktionszyklus saisonale, flussaufwärts gerichtete Wanderbewegungen, um ihre Laichgebiete zu erreichen (insbesondere anadrome Fischarten), darunter auch die im Zusammenhang mit der Festlegung der Mindestabflüsse besonders zu berücksichtigenden Leitarten der Barbenregion (Barbe und Nase). Während dieser saisonalen Aufwanderungen, deren Zeiträume artspezifisch sind (Lachs: Oktober bis Dezember; Nase: März bis April; Barbe: Mai bis Juni – wetterbedingte Verschiebungen sind möglich), ist die aufwärts gerichtete Durchgängigkeit von zentraler ökosystemarer Bedeutung. Aber auch jenseits der saisonalen Laichwanderungen ist die aufwärts gerichtete Durchgängigkeit ganzjährig von hoher Bedeutung, da sie Fischen einen Habitatwechsel ermöglicht (z.B. zwischen Winterhabitaten und Nahrungshabitaten während der Vegetationsperiode), eine Kompensationswanderung von abwärts gerichteten Wanderungen (speziell von Jungfischen) erlaubt, die Ausbreitung innerhalb des Gewässers unterstützt und einen Austausch zwischen Teilpopulationen ermöglicht.

Die Durchgängigkeit der WKA Kirschhofen für Fische, die flussaufwärts gerichtete Wanderungen durchführen, ist eng an die Auffindbarkeit und Funktionalität der FAA im Turbinenkanal gekoppelt, da diese FAA den einzigen Aufwanderungskorridor für Fische darstellt. Das Doppelwehr der Ausleitungsstrecke wird als aufwärts grundsätzlich unpassierbar eingeschätzt, selbst bei einer Ableitung des gesamten Lahnabflusses durch die Ausleitungsstrecke. Die Wehre verfügen über keine FAA, und insbesondere das obere Wehr bietet selbst schwimmstärksten Fischen wie dem Lachs keine Möglichkeit, in tieferem Wasser eine ausreichende Geschwindigkeit zu erreichen, um das Wehr zu überspringen, da kein Tosbecken unterhalb des Wehrkörpers vorhanden ist. Die Schleuse stellt keinen geeigneten Wanderweg dar.

Entsprechend hoch ist die Bedeutung der FAA im Turbinenkanal zu bewerten. Deren Grundfunktionalität muss durch eine regelmäßige Säuberung und Wartung sichergestellt sein, und es ist geplant, ihre Effektivität für bodennah wandernde Fische durch die Wiederherstellung eines Sohlanschlusses zu steigern. Darüber hinaus soll ggf. eine zusätzliche Einstiegsmöglichkeit geschaffen werden, damit die FAA auch bei hohen Unterwasserständen grundsätzlich gut auffindbar bleibt (HÜBNER & HASSINGER 2021). Dennoch ist selbst bei einer optimalen Grundfunktionalität der FAA ihre tatsächliche Effektivität stark von der Abflussverteilung zwischen Turbinenkanal und Ausleitungsstrecke abhängig.

Fische orientieren sich bei einer Aufwärtswanderung vornehmlich positiv rheotaktisch, sie suchen also die Bereiche stärkster Strömung auf und schwimmen dieser grundsätzlich entgegen. Dies geschieht jedoch, je nach art- und stadienspezifischer Schwimmstärke, nicht zwangsläufig direkt innerhalb der stärksten Strömung, sondern auch in

strömungsberuhigteren Randbereichen nahe der stark strömenden Bereiche, welche als Orientierung dienen. Neben der Strömung spielen auch akustische Reize, insbesondere bei Karpfenartigen (Familie Cyprinidae), eine Rolle bei der Orientierung. In Abwesenheit starker Strömungsreize, etwa in einer Rückstausituation, orientieren sich die Tiere am Geräusch plätschernden Wassers und schwimmen bei Wanderwilligkeit darauf zu. Dementsprechend sind die Voraussetzungen für ein Auffinden der FAA der WKA Kirschhofen grundsätzlich gut, denn der Turbinenkanal liegt auf der rechten Flussseite, welche aufgrund der flussabwärts folgenden Linkskurve dem Prallhang entspricht. Auf der Prallhangseite, also der Außenseite einer Flussschleife, sind die Strömungsgeschwindigkeiten grundsätzlich höher zu erwarten als auf der inneren Gleithangseite, von welcher das Wasser der Ausleitungsstrecke mit dem Turbinenkanal zusammengeführt wird. Es ist also anzunehmen, dass aufwandernde Fische bevorzugt auf der rechten Flussseite den Bereich der WKA erreichen, wo auch die FAA verortet ist.

Die Auffindbarkeit der FAA ist nun im Weiteren entscheidend von der Abflussverteilung zwischen Turbinenkanal und Ausleitungsstrecke abhängig. Geht vom Turbinenkanal eine ausreichend große Leitströmung aus, z.B. bei moderaten Abflüssen zwischen 20 und 40 m³/s (bei diesen Abflüssen fließt im Normalbetrieb ein Großteil des Gesamtabflusses durch die Turbinen), werden die Fische mit hoher Wahrscheinlichkeit in diesen einschwimmen und einen Aufstiegsweg suchen. Wenn sie dabei in das nähere Umfeld der FAA einschwimmen, können sie aufgrund der aus der FAA austretenden Leitströmung den Einstieg in die FAA auffinden und über diese aufwandern.

Bei einer Abschaltung der Turbinen hingegen fehlt ein Strömungsreiz aus dem Turbinenkanal, und der gesamte Abfluss der Lahn (abzüglich der Dotation der Fischwanderwege FAA, Aalrohr und permanenter Fischabstieg) fließt über die Ausleitungsstrecke. Unter diesen Umständen werden die Fische mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit in die Ausleitungsstrecke einschwimmen und dort vergeblich versuchen, aufzusteigen. Turbinenabschaltungen bzw. Turbinenstillstandszeiten gehen also stets mit einer drastisch verringerten Auffindbarkeit der FAA und damit einer weitgehenden Unpassierbarkeit der WKA für aufwandernde Fische einher. Bei einem solchen „Sackasseneffekt“ während der saisonalen Laichwanderungen kieslaichender Arten wird bisweilen beobachtet, dass sich unterhalb des unpassierbaren Wanderhindernisses Ersatzlaichplätze etablieren, wenn geeignete Habitatbedingungen (flach überströmte Kiesbereiche) vorliegen. Für eine Einschätzung dazu s. Kap. 5.

Die Stillstandszeiten der Turbinen sind vornehmlich abhängig von den Lahnabflüssen und dem festgelegten Mindestabfluss, der in der Ausleitungsstrecke zu verbleiben hat. Weitere Rahmenbedingungen stellen der technisch notwendige Abfluss von mindestens ca. 6,0 m³/s dar, den die WKA für einen Turbinenbetrieb benötigt, und die Dotationen der Fischwanderwege, die abfluss- und betriebsunabhängig ganzjährig zu gewährleisten sind. Dies sind insgesamt ca. 0,545 m³/s, im einzelnen ca. 0,3 m³/s für den permanenten Fischabstieg, 0,23 m³/s für die FAA und ca. 0,015 m³/s für den Betrieb des Aalrohres. Unterhalb eines

Abflusses von 6,545 m³/s plus dem festgelegten Mindestwasserabfluss steht die WKA entsprechend still, und ist infolgedessen nahezu unpassierbar für aufwandernde Fische. Bei insgesamt geringen Abflüssen hat die gewählte Mindestwassermenge also einen direkten Effekt auf die Anzahl der Turbinenstillstandstage und infolgedessen auf die flussaufwärts gerichtete Passierbarkeit.

Eine Auswertung der mittleren Tagesabflüsse der Jahre 2008 bis 2017 (Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch, Pegel Leun, umgerechnet auf den Standort der WKA) ergab, dass die Abflüsse in der Lahn unter den Rahmenbedingungen der abgelaufenen Betriebsgenehmigung (Mindestwassermenge in der Ausleitungsstrecke 1,0 m³/s) in diesem Zeitraum rechnerisch zu durchschnittlich 0,6 Stillstandstagen der WKA pro Jahr geführt hätten, in acht der zehn betrachteten Jahre wäre keinerlei Stillstand aufgetreten (Abb. 38, links). Diese Stillstandstage und die damit einhergehende, weitgehende Unpassierbarkeit der WKA in flussaufwärts gerichtete Richtung wäre im Betrachtungszeitraum auch nur im Monat September aufgetreten, also in einem Zeitraum, der für saisonale Laichwanderungen der heimischen Fischarten bedeutungslos ist. Entsprechend spielte der WKA-Stillstand in der Vergangenheit rechnerisch nur eine sehr untergeordnete Rolle für den Aspekt der aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit der WKA Kirschhofen.

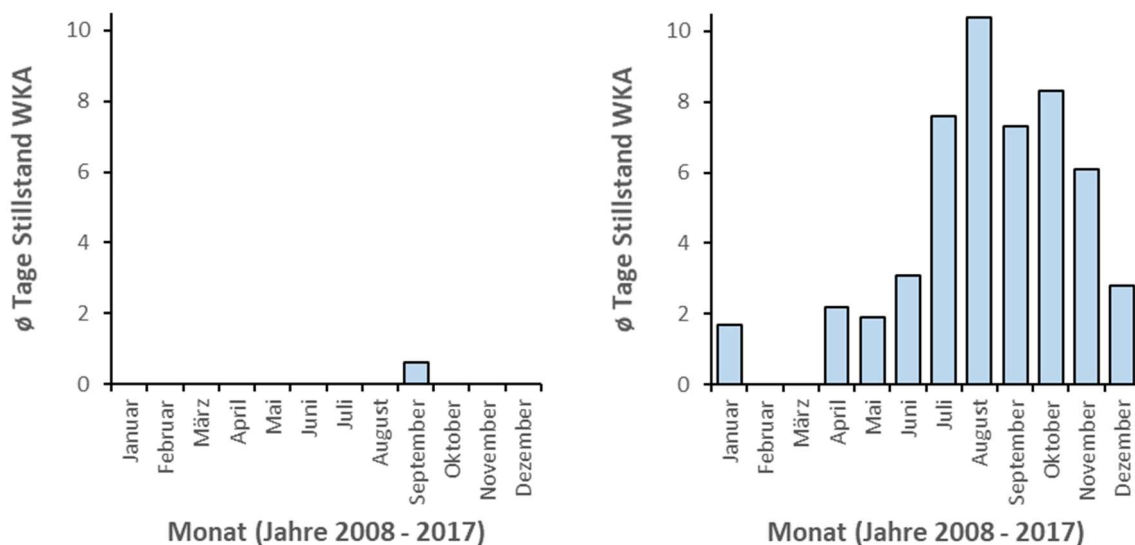


Abb. 38: Monatliche Auflösung der rechnerischen Auswirkungen (Rückrechnung auf die Jahre 2008 bis 2017) der Mindestabflusszenarien gemäß der abgelaufenen Betriebsgenehmigung (links) und der Mindestabflussberechnung des Regierungspräsidiums Gießen (Mikus, 2019, rechts) auf die durchschnittliche jährliche Anzahl an Stillstandstagen der WKA Kirschhofen.

Bei Anwendung der Rahmenbedingungen, die im Zuge der Beantragung der Weiterbetriebsgenehmigung für die WKA seitens des Regierungspräsidiums Gießen errechnet wurden (Mindestwasser in der Ausleitungsstrecke: Oktober bis April: 6,9 m³/s; Mai und Juni: 4,209 m³/s, Juli bis September: 4,168 m³/s) unter Einbeziehung der in der neu beantragten Betriebsgenehmigung zusätzlich vorgesehenen Dotation für die Fischabstiegswege (ca. 0,015

m³/s für das Aalrohr, 0,3 m³/s für den permanenten Fischabstieg) und der durch den höheren Oberwasserstand hervorgerufenen Zusatzdotations der FAA (ca. 0,02 m³/s) wären im Zeitraum von 2008 bis 2017 hingegen rechnerisch 51,4 Stillstandstage pro Jahr (Minimum: 0 im Jahr 2007, Maximum: 128 im Jahr 2016) aufgetreten. Diese errechneten Stillstandstage wären in zehn Monaten aufgetreten und hätten damit auch die Zeiträume betroffen, in welchen die Leitfischarten ihre saisonalen Laichwanderungen durchführen (Abb. 38, rechts). Die größten Einschränkungen in der Aufwärtspassierbarkeit der WKA durch deren Stillstand wären jedoch rechnerisch in den Sommermonaten aufgetreten.

Legt man die Maßgabe zugrunde, dass die WKA Kirschhofen bei Abflüssen zwischen Q₃₀ und Q₃₃₀ (errechnet aus den Daten für den Zeitraum 1936 bis 2017 am Pegel Leun, Gewässerkundliches Jahrbuch) für aufwärts wandernde Fische durchgängig sein muss, ergibt sich (bei Anwendung eines einheitlichen, ganzjährigen Zielwerts ohne saisonale Anpassungen) rechnerisch, dass der Mindestabfluss durch die Ausleitungsstrecke nicht höher als 2,0925 m³/s liegen sollte:

Maximaler Mindestabfluss_{Ausleitungsstrecke}

$$\begin{aligned} &= Q_{30} - \text{Mindestabfluss}_{\text{Turbinenbetrieb}} - \text{Dotation}_{\text{Aalrohr}} - \text{Dotation}_{\text{FAA}} - \text{Dotation}_{\text{Fischabstieg}} \\ &= 8,6375 \text{ m}^3/\text{s} - 6,0 \text{ m}^3/\text{s} - 0,015 \text{ m}^3/\text{s} - 0,230 \text{ m}^3/\text{s} - 0,300 \text{ m}^3/\text{s} \\ &= 2,0925 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Um jedoch auch eine datenbasierte saisonale Anpassung der Mindestabflüsse in der Ausleitungsstrecke zu ermitteln, wurde eine Rückrechnung für verschiedene Mindestabflüsse bezogen auf die Jahre 2008 bis 2017 (unter Berücksichtigung der Dotationen für die Fischwanderwege und die technische Mindestabflussmenge für die WKA) durchgeführt. Sie zeigt, dass ein Mindestabfluss von 3,0 m³/s oder mehr im betrachteten Zeitraum rechnerisch zu Stillstandszeiten (und damit Durchgängigkeitsdefiziten) während der saisonalen Laichwanderungen von Barbe (Mai/Juni) und Lachs (Oktober bis Dezember) geführt hätten (Abb. 39). Insgesamt hätte sich in der Rückrechnung ein höherer Mindestabfluss besonders ausgeprägt in den Sommermonaten ausgewirkt, und im Bereich zwischen 3,0 und 7,0 m³/s Mindestwasser wären die Unterschiede zwischen den errechneten Szenarien im Sommer am größten gewesen. In den Monaten von Dezember bis März hätte sich der gewählte Mindestwasserabfluss hingegen relativ geringfügig oder (im Februar) gar nicht auf die durchschnittliche jährliche Anzahl der Stillstandstage ausgewirkt (für Mindestabflüsse bis 10 m³/s).

Die Bedeutung der Einschränkungen in der aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit der WKA durch Turbinenstillstand ist nicht nur in Bezug auf die saisonalen Laichwanderungen der Leitarten zu bewerten, sondern auch im Kontext der allgemeinen aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit der WKA zu beurteilen. Es ist davon auszugehen, dass die WKA nicht nur

bei jenen Abflussbedingungen in ihrer aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit eingeschränkt ist, bei denen der Betrieb eingestellt ist, sondern auch bei Abflüssen, die zu einer hohen Dotation der Ausleitungsstrecke im Verhältnis zum Turbinenkanal führen. Das sog. „Schluckvermögen“ der Turbinen beträgt maximal $38 \text{ m}^3/\text{s}$, bei Lahnabflüssen $> (38,0 \text{ m}^3/\text{s} + 0,545 \text{ m}^3/\text{s} + \text{Mindestabfluss in die Ausleitungsstrecke})$ fließt der nicht von der WKA verarbeitete Abfluss ebenfalls über die Ausleitungsstrecke ab.

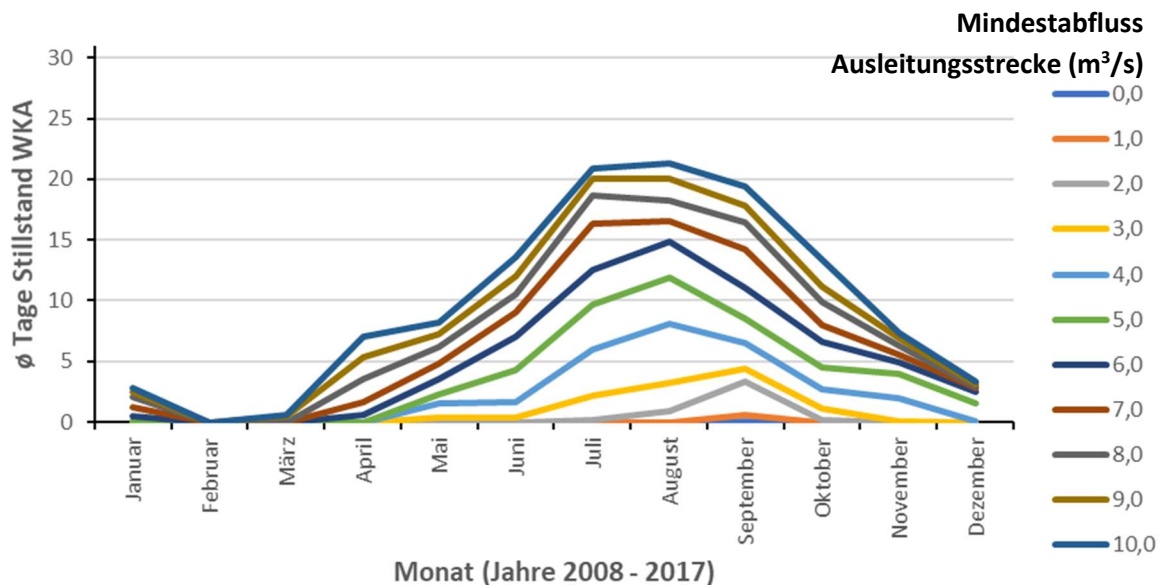


Abb. 39: Simulation der monatsbezogenen Auswirkungen unterschiedlicher Mindestabflüsse (unter Berücksichtigung der geplanten Dotationen für die Fischwanderwege der WKA) auf die durchschnittliche jährliche Anzahl an Stillstandstagen der WKA (Datenbasis: Tagesabflüsse der Jahre 2008 – 2017).

Somit führt die Ausleitungsstrecke ab einem Abfluss von $> 77,09 \text{ m}^3/\text{s}$ Lahnabfluss mehr Wasser als der Turbinenkanal, so dass mit zunehmendem Abfluss eine zunehmende Konkurrenzströmung zwischen Turbinenkanal und Ausleitungsstrecke entsteht, die den Fischen ein Auffinden des Wanderwegs zur FAA erschweren kann, weil sie potentiell der Leitströmung aus der Ausleitungsstrecke folgen könnten. Dieser Wert liegt unterhalb des Q_{330} von $88,625 \text{ m}^3/\text{s}$ (errechnet aus den Daten für den Zeitraum 1936 bis 2017 am Pegel Leun, Gewässerkundliches Jahrbuch), so dass die Einschränkungen in der aufwärtsgerichteten Durchgängigkeit durchaus auch unterhalb von Q_{330} Relevanz haben können.

Bei sehr hohen Abflüssen schaltet sich die WKA zudem ab, da der Pegelanstieg durch Rückstau im Unterwasser zu einer Unterschreitung des für einen Betrieb der Turbinen notwendigen Gefälles führt. Weiterhin kann vermehrtes Auftreten großen Treibguts bei hohen Abflüssen zu einer manuellen Abschaltung kürzerer Dauer führen. Bei sehr hohen Abflüssen wird eine aufwärtsgerichtete Wanderung über die FAA entsprechend sehr unwahrscheinlich.

Inwieweit sich die Abflussverteilungen zwischen Turbinenkanal und Ausleitungsstrecke tatsächlich auf das artspezifische Wanderverhalten der aufwandernden Fische auswirkt,

könnte lediglich mit einer eingehenden Untersuchung festgestellt werden, die den Rahmen dieses Gutachtens übersteigen würde. Um die potentielle aufwärtsgerichtete Durchwanderbarkeit der WKA in Abhängigkeit von den Lahnabflüssen bei WKA-Betrieb dennoch abschätzen zu können, wurde der folgende Ansatz gewählt. Es wird davon ausgegangen, dass die aufwärtsgerichtete Durchwanderbarkeit

- potentiell optimal ist bei Lahnabflüssen, die lediglich zum Mindestabfluss über die Ausleitungsstrecke führen. Da die Abgrenzung dieser Kategorie von der Wahl eines konkreten Mindestabflusses abhängig ist (auch wegen der davon abhängigen Abschaltungsdauer, s.o.), wird sie für die Datenauswertung mit der folgenden zusammen behandelt.
- sehr gut ist, wenn die Dotation der Ausleitungsstrecke jene des Turbinenkanals nicht übersteigt. Zu dieser Einschätzung kommen wir, da wir einen bevorzugten Aufstiegsweg auf der Prallhangseite annehmen (s.o.) und aus dem Turbinenkanal zusätzliche akustische Orientierungshilfen (s.o.) für die Fische wahrzunehmen sind.
- mäßig eingeschränkt ist, wenn die Dotation der Ausleitungsstrecke jene des Turbinenkanals nicht um das doppelte übersteigt. Die konkrete Setzung dieser Kategoriengrenze ist lediglich eine Vermutung, tatsächlich wird sich die Auffindbarkeit der FAA bei Abflussverteilungen in dieser Größenordnung vermutlich artspezifisch deutlich unterscheiden.
- stark eingeschränkt ist, wenn die Dotation der Ausleitungsstrecke jene des Turbinenkanals um mehr als das Doppelte übersteigt.

Ab einem Abfluss ca. $> 124 \text{ m}^3/\text{s}$ muss mit der Abschaltung der Anlage gerechnet werden, so dass die WKA dann als nahezu unpassierbar kategorisiert wird. Für die Auswertung wird diese Kategorie mit der vorangegangenen zusammengefasst.

Die Kategorien sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Tab. 7). Theoretisch könnte auch eine hoch gewählte Mindestabflussmenge in der Ausleitungsstrecke ($> 6,545 \text{ m}^3/\text{s}$) zu einer die Auffindbarkeit der FAA einschränkenden Konkurrenzströmung führen, dies blieb bei dieser Analyse unberücksichtigt.

Bei einer Rückrechnung für die Jahre 2008 – 2017 (Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch) ergibt sich, dass die WKA Kirschhofen (ohne Einrechnung eines Mindestwasserabflusses und damit verbundenen Stillstandszeiten) rechnerisch durchschnittlich an 328,9 Tagen des Jahres (Minimum: 316, Maximum 340) für aufwandernde Fische mindestens sehr gut durchgängig gewesen wäre, an weiteren 19,9 Tagen (Minimum: 9, Maximum: 36) jedoch nur eingeschränkt und an 16,5 Tagen (Minimum: 7, Maximum: 32) mindestens stark eingeschränkt bis unpassierbar (Abb. 40).

Tab. 7: vom Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke unabhängige, aufwärts gerichtete Durchwanderbarkeit der WKA Kirschhofen. Der Lahnabfluss bezieht sich auf den Standort der WKA Kirschhofen. Erläuterungen s. Fließtext.

Abflussverteilung	Lahnabfluss (m ³ /s)	Durchgängigkeit stromaufwärts
Turbinenkanal ≥ Ausleitungsstrecke	≤ 77,09	Potentiell optimal bis sehr gut
Turbinenkanal < Ausleitungsstrecke	77,09 > n ≤ 115,635	Mäßig eingeschränkt
Turbinenkanal << Ausleitungsstrecke	115,635 > n < ~ 124	Stark eingeschränkt
Nur Ausleitungsstrecke	≥ ~ 124	Nahezu unpassierbar

Man kann also davon ausgehen, dass die aufwärtsgerichtete Passierbarkeit der WKA Kirschhofen bei hohen Abflüssen aufgrund des Fehlens einer FAA in der Ausleitungsstrecke eingeschränkt ist, und dass dies etwa in einer Größenordnung von 10 % der Tage eines Jahres einzuschätzen ist (bezogen auf den Betrachtungszeitraum 2008 - 2017). Davon sind besonders die Monate von November bis April betroffen, also auch Zeiten, in denen die saisonalen Laichwanderungen der Lachse und Nasen erfolgen.

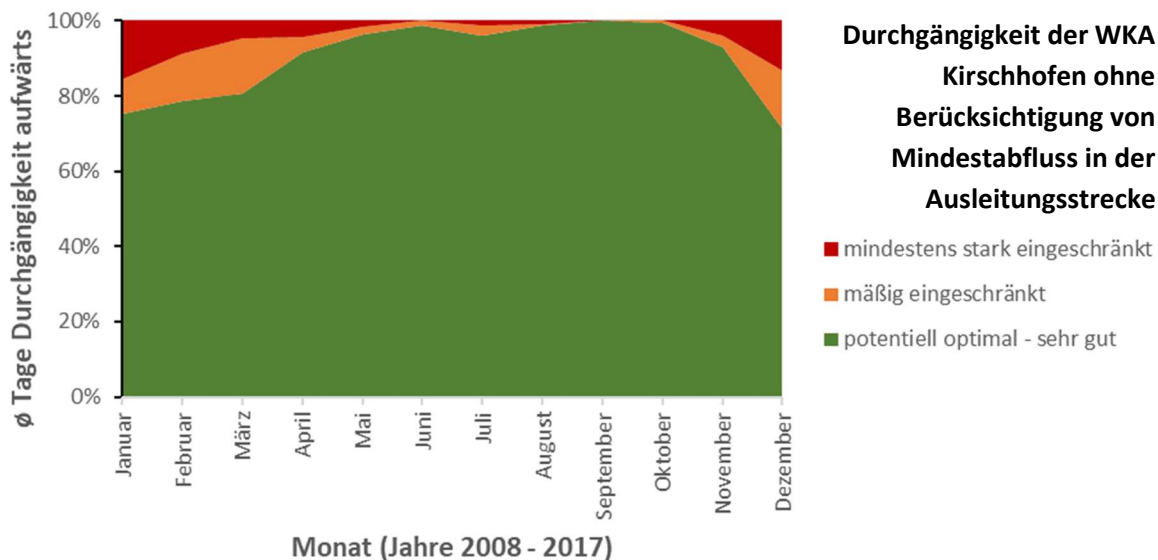


Abb. 40: Rückrechnung der monatsbezogenen Auswirkungen der Abflussverteilung zwischen Turbinenkanal und Ausleitungsstrecke auf die aufwärtsgerichtete Durchgängigkeit der WKA Kirschhofen (Kategorisierung: s. Fließtext). In die Berechnung ging keinerlei Mindestabfluss in die Ausleitungsstrecke ein, die geplanten Dotationen für die Fischwanderwege der WKA wurden berücksichtigt. (Datenbasis: Tagesabflüsse der Jahre 2008 – 2017).

Sowohl bei niedrigen Abflüssen (durch Stillstand der WKA, Ausmaß abhängig vom vorgegebenen Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke) als auch bei hohen Abflüssen (durch

zunehmende Konkurrenzströmung aus der Ausleitungsstrecke) treten also Einschränkungen in der aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit für Fische auf, die ursächlich im Fehlen einer FAA in der Ausleitungsstrecke begründet sind. Da nicht absehbar ist, dass an dieser Stelle eine FAA errichtet wird, ist davon auszugehen, dass dieser schwerwiegende ökologische Mangel zukünftig nicht behoben wird. Somit wird, unabhängig vom Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke, eine eingeschränkte aufwärtsgerichtete Durchgängigkeit an etwa 10 % der Tage eines Jahres, insbesondere während der saisonalen Laichwanderungen der Leitfischarten Lachs und Nase, erwartet. Vor diesem Hintergrund erscheint es geboten, die Einschränkungen der aufwärtsgerichteten Durchwanderbarkeit durch Stillstand der WKA infolge von Mindestabflusssauflagen möglichst gering zu halten. Dies gilt insbesondere während der Laichwanderungen der Leitfischarten.

6.2 Durchgängigkeit der WKA für abwärts wandernde Fische

Nach der Kategorisierung der HLNUG gilt die Wehranlage am WKA Kirschhofen als abwärts unpassierbar, unsere Befischungsergebnisse zeigen jedoch eindeutig, dass Fische das Ausleitungswehr in beträchtlicher Anzahl in abwärts gerichteter Richtung überwunden haben (s. Kap. 4). Die potentielle Relevanz dieses Aspekts auch bei Anlagenbetrieb war bei der Planung des Gutachtens nicht erkannt worden, daher waren auch keinerlei konkrete Untersuchungen dazu vorgesehen. Somit muss dieser Aspekt auf Grundlage theoretischer Überlegungen analysiert werden.

Bisher weist die WKA Kirschhofen keine dauerhafte Einrichtung für den Fischabstieg auf. Allerdings sind der Bau eines speziellen Aalabstiegs und eines dauerhaften Abstiegs für oberflächennah wandernde Fischarten in Planung. In Abhängigkeit vom Auftreten abwärts gerichteter Wanderungen von Lachssmolts und Blankaalen wird die abwärts gerichtete Durchgängigkeit derzeit im Rahmen eines Turbinenmanagements hergestellt, wobei entweder die Turbinen abgestellt werden (Aale und Smolts) oder (nur im Falle der Smoltwanderung) eine speziell dafür installierte Metallrutsche an den Freischuss angeschlossen wird. Im Falle der Ausschaltung der Turbinen erfolgt der Fischabstieg über die Wehre der Ausleitungsstrecke, dieser Abstiegsweg wird also derzeit bereits als funktional beurteilt und bewusst genutzt. Es ist also davon auszugehen, dass die Überwindung der Wehre in abwärts gerichteter Richtung Fischen möglich ist, und dass dies derzeit der wichtigste Abstiegsweg für Fische am Standort Kirschhofen ist (vereinzelt werden Fische auch über die Schleuse, den Freischuss beim Ausspülen von Schwemmgut oder über die FAA ins Unterwasser gelangen).

Bei abwärts gerichteten Wanderungen orientieren sich Fische an der Hauptströmung, bzw. sie nutzen die Hauptströmung für eine energieeffiziente Wanderung. Weiterhin orientieren sich manche Fischarten, insbesondere Karpfenfische (Cyprinidae), auch an akustischen Reizen (Rauschen oder Plätschern), um einen Wanderweg zu finden.

Dementsprechend werden bei Anlagenbetrieb die meisten absteigenden Fische, der Hauptströmung folgend, in den Turbinenkanal einschwimmen. Es ist denkbar, dass der Turbinenkanal selbst bei jenen Abflusssituationen bevorzugt aufgesucht wird, in denen mehr Wasser über das Ausleitungswehr fließt als durch die Turbinen der WKA, da er aufgrund seiner engen, tiefen Geometrie eine höhere Strömung aufweisen sollte als der sehr breite Anfangsabschnitt der Ausleitungsstrecke oberhalb des Ausleitungswehres. Möglicherweise findet jedoch auch ein nicht unerheblicher Anteil der abstiegswilligen Fische in einer solchen Situation den direkten Weg über die Wehrkrone, insbesondere akustisch orientierte Arten (aufgrund des Rauschens beim Wehrüberfall). Auch die Lage des Wehres auf der Prallhangseite des Flusses könnte für ein Auffinden des Wehres als Abstiegsweg förderlich sein. Es ist allgemein und bei allen Abstiegssituationen zu vermuten, dass es mehr Fischen gelingt, den Abstiegsweg über die Wehrkrone zu finden, je mehr Wasser über die Wehrkrone fließt.

Diejenigen Fische, die in den Turbinenkanal einschwimmen, folgen der Strömung bis zur WKA. Da sie dort am Fischeschonrechen der Strömung nicht weiter folgen können, beginnen sie die Suche nach alternativen Abstiegsmöglichkeiten. Hier sollten sie dann zukünftig den oberhalb der Turbinen liegenden Einstieg in den geplanten permanenten Fischabstieg finden, oder grundnah durch ein geplantes Aalrohr abwandern können. Bis zur vollständigen Umsetzung des Abstiegskonzepts muss jedoch davon ausgegangen werden, dass die Fische bei der Suche nach einem alternativen Abstiegsweg in der Nähe der Turbinen nicht fündig werden können. Ob diese Fische bei der Suche nach einem Abstiegsweg den weiten Weg flussaufwärts zum Anfang der Ausleitungsstrecke zurücklegen, ist eher fraglich.

Dementsprechend kann resümiert werden, dass sich die abwärtsgerichtete Durchgängigkeit der WKA Kirschhofen voraussichtlich solange mit zunehmendem Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke verbessert, bis das Fischabstiegskonzept im Turbinenkanal umgesetzt ist. Dabei ist nur derjenige Anteil des Mindestabflusses, der durch Wehrüberfall abfließt, von positiver Wirkung auf die abwärts gerichtete Durchgängigkeit. Sobald dieses Abstiegskonzept jedoch vollständig und funktional installiert wurde, hat zusätzlicher Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke voraussichtlich keinen zusätzlichen, positiven Effekt mehr auf die abwärtsgerichtete Durchgängigkeit für Fische. Damit wäre auch der Zielkonflikt zwischen aufwärts und abwärts gerichteter Durchgängigkeit aufgelöst.

7 Lebensraumstabilität der Ausleitungsstrecke

7.1 Auswirkungen der Veränderungen des Betriebszustands bei geringen Lahnabflüssen

Die in der WKA Kirschhofen verbauten zwei Turbinen haben ein maximales Schluckvermögen von insgesamt $38 \text{ m}^3/\text{s}$, der technische Mindestabfluss für einen Turbinenbetrieb beträgt ca. $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Der tatsächlich benötigte Abfluss ist jedoch höher, da die Fischaufstiegsanlage stets mit $0,21 \text{ m}^3/\text{s}$ zu beaufschlagen ist, und darüber hinaus ein im Genehmigungsbescheid festgelegter Mindestwasserabfluss über die Ausleitungsstrecke sicherzustellen ist. Dieser war in der abgelaufenen Betriebsgenehmigung auf $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ beziffert. Der tatsächliche Mindestabfluss in der Lahn für einen Betrieb der WKA lag somit in der Vergangenheit bei $7,21 \text{ m}^3/\text{s}$. Unterhalb dieser Schwelle wurde die WKA technisch bedingt außer Betrieb gesetzt, und der gesamte Lahnabfluss abzüglich der Beaufschlagung der FAA wurde über die Ausleitungsstrecke geleitet. Stieg der Abfluss dann zu einem späteren Zeitpunkt wieder über diese Schwelle hinaus an, wurde die WKA wieder in Betrieb genommen.

Bei jeder dieser Änderungen des Betriebszustands verändert sich der Abfluss in die Ausleitungsstrecke deutlich. Bei einer Abschaltung der Anlage fließen innerhalb weniger Minuten $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ mehr durch die Ausleitungsstrecke (dies entsprach in der Vergangenheit etwa einer Versiebenfachung des Abflusses). Bei Wiederinbetriebnahme verringert sich der Abfluss in die Ausleitungsstrecke innerhalb kurzer Zeit entsprechend. Derart ausgeprägte Abflussschwankungen innerhalb kurzer Zeit entsprechen nicht der für die Lahn in diesem Abschnitt typischen Abflussdynamik. Auswertungen der Tagesabflüsse am nahegelegenen Pegel Leun (Zeitraum: November 2007 bis Dezember 2017, umgerechnet auf die Verhältnisse in Kirschhofen) zeigen, dass Abflussveränderungen $\geq 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ von einem Tag auf den folgenden zwar regelmäßig auftreten (in insgesamt 24,4 % der Fälle), dies jedoch vor allem bei hohen Abflüssen (Abb. 41).

Eine Zunahme um $\geq 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ von einem Tag auf den folgenden trat im betrachteten Zeitraum bei Abflüssen $< 10 \text{ m}^3/\text{s}$ lediglich an sechs Tagen auf (insgesamt lagen solche Abflussverhältnisse an 237 Tagen vor), ein Rückgang des Abflusses um $\geq 6,0 \text{ m}^3/\text{s}$ von einem Tag auf den folgenden konnte bei Abflüssen $\leq 20 \text{ m}^3/\text{s}$ im ausgewerteten Zeitraum niemals festgestellt werden. Bei einer Änderung des Betriebszustandes der WKA infolge eines Übertretens der Mindestbetriebsabflussschwelle treten die beschriebenen Abflussveränderungen zudem wesentlich schneller auf (s.o.). Es muss also davon ausgegangen werden, dass die Auswirkungen dieser Abflussveränderungen wesentlich erheblicher sind, als solche die von der lahntypischen Abflussdynamik hervorgerufen werden.

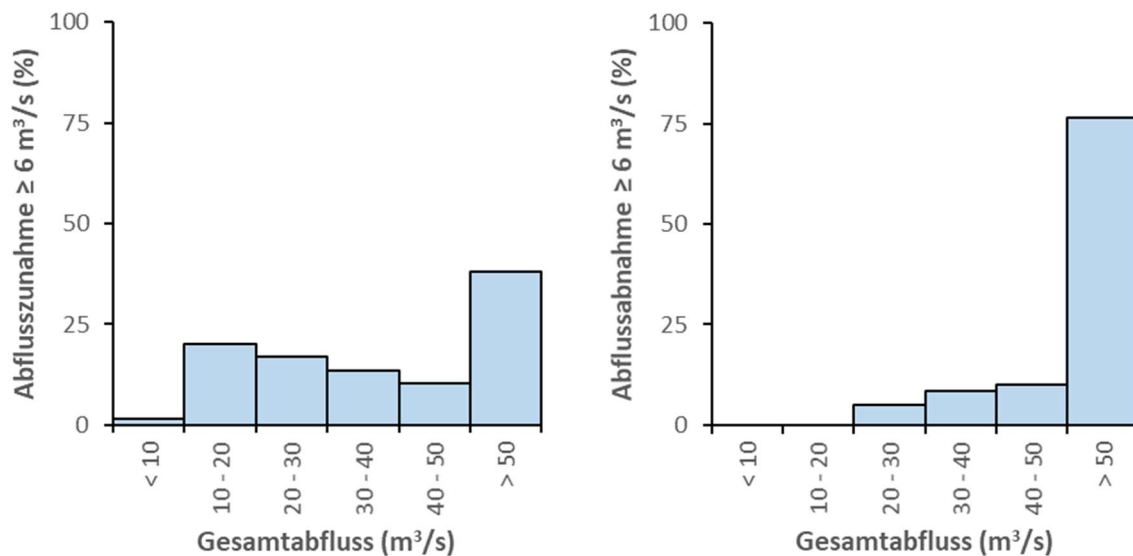


Abb. 41: Häufigkeitsverteilung der Abflussveränderungen $\geq 6 \text{ m}^3/\text{s}$ auf Tagesbasis (Nov. 2007 – Dez. 2017, Basis: Pegel Leun) bei unterschiedlichen Gesamtabflüssen in der Lahn. Links: Abflusszunahmen $\geq 6 \text{ m}^3/\text{s}$ (n = 490, 13,2 % der Tage). Rechts: Abflussabnahmen $\geq 6 \text{ m}^3/\text{s}$ (n = 416, 11,2 % der Tage).

Diese sehr schnellen Veränderungen in der Dotation der Ausleitungsstrecke verändern die Habitatbedingungen für die dortige Limnofauna. Bei einer solchen Abflusszunahme steigt die Fließgeschwindigkeit im Wasserkörper an, der Wasserspiegel hebt sich, und die Uferlinie verschiebt sich. Auch die kleinräumige Strömungsstruktur an der Uferlinie kann sich innerhalb kurzer Zeit verändern, etwa könnten Uferbereiche mit langsamer Rückströmung zu Fließstrecken werden. Dies könnte sich insbesondere negativ auf Fischbrut und schwimmschwache Jungfische auswirken, da diese bevorzugt in strömungsberuhigten oder rückströmigen Uferbereichen Deckung suchen und bei einer schnellen Veränderung der Verhältnisse ihre Deckung verlieren können. Sie könnten dann abgedriftet werden bzw. einem erhöhten Prädationsdruck ausgesetzt sein. Bei einer schnellen Abflussabnahme kommt hinzu, dass kurz zuvor unter dem Wasserspiegel gelegene Uferbereiche trockenfallen. Dies kann, v.a. bei weniger mobilen Arten der Limnofauna, zu Verlusten durch Austrocknung führen. Auch Laichplätze könnten in bestimmten, artspezifischen Zeitfenstern von Austrocknung betroffen sein. Wie bei der Abflusszunahme verlieren Uferstrukturen bevorzugende Fische bei einem plötzlichen Abflussrückgang ihre Deckungsstrukturen und werden zu einem Ortswechsel gezwungen, wodurch sie einem erhöhten Prädationsrisiko ausgesetzt sind.

Insgesamt sind die Auswirkungen der schnellen Abflussveränderungen, die durch Änderungen des Betriebszustands der WKA hervorgerufen werden, hinsichtlich der Beeinflussung der Lebensräume von der Ausprägung der Uferstruktur abhängig. Flache oder variabel steigende Ufer bzw. deckungs- und strukturreiche Ufer sind stärker betroffen als steile, strukturarme Ufer mit uniformer Steigung. Die Auswirkungen bezüglich Strömung und Wassertiefe im Hauptwasserkörper sind als gravierender einzuschätzen, je kleiner die Mindestwassermenge in der Ausleitungsstrecke vorgegeben wird. Die beschriebenen Effekte treten im unteren Teil

der Ausleitungsstrecke, welcher (je nach Gesamtabfluss in unterschiedlichem Ausmaß) von Rückstau aus dem Unterwasser beeinflusst wird, in geringerem Maße auf.

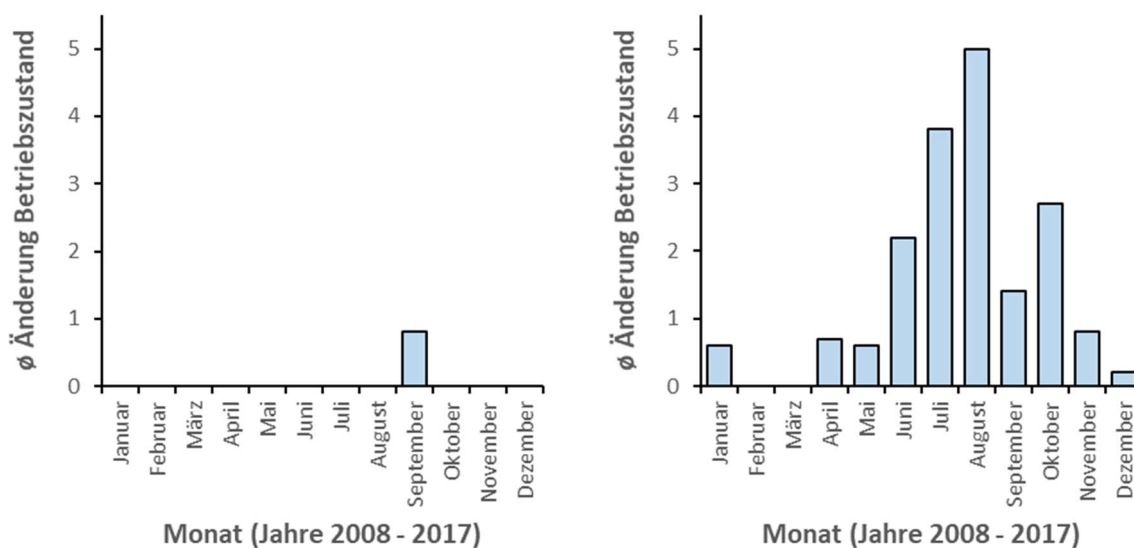


Abb. 42: Monatliche Auflösung der rechnerischen Auswirkungen (Rückrechnung auf die Jahre 2008 bis 2017) der Mindestabflusszenarien gemäß der abgelaufenen Betriebsgenehmigung (links) und der Mindestabflussberechnung des Regierungspräsidiums Gießen (Mikus, 2019, rechts) auf die durchschnittliche jährliche Anzahl an An- und Abschaltungen der WKA Kirschhofen.

Insgesamt sind schnelle Abflussveränderungen durch einen Wechsel des Betriebszustands der WKA als belastend für die Limnofauna in der Ausleitungsstrecke zu bewerten. Die Häufigkeit des Auftretens solcher Ereignisse steht in einem direkten Zusammenhang mit der vorgegebenen Mindestwassermenge, die in der Ausleitungsstrecke zu verbleiben hat. Eine Auswertung der mittleren Tagesabflüsse der Jahre 2008 bis 2017 (Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch, Pegel Leun, umgerechnet auf den Standort der WKA) ergab, dass die Abflüsse in der Lahn unter den Rahmenbedingungen der abgelaufenen Betriebsgenehmigung (Mindestwassermenge in der Ausleitungsstrecke $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$) in diesem Zeitraum rechnerisch zu acht Änderungen des Betriebszustands geführt hätten, in acht der zehn betrachteten Jahre wären keinerlei Veränderungen des Betriebszustands erforderlich gewesen (Abb. 42, links). Bei Anwendung der Rahmenbedingungen, die im Zuge der Beantragung der Weiterbetriebsgenehmigung für die WKA seitens des Regierungspräsidiums Gießen errechnet wurden (Mindestwasser in der Ausleitungsstrecke: Oktober bis April: $6,9 \text{ m}^3/\text{s}$; Mai und Juni: $4,209 \text{ m}^3/\text{s}$, Juli bis September: $4,168 \text{ m}^3/\text{s}$) unter Einbeziehung der zusätzlich vorgesehenen Dotation für die Fischabstiegswege (ca. $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ für das Aalrohr, $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ für den permanenten Fischabstieg) und der durch den höheren Oberwasserstand hervorgerufenen Zusatzdotation der FAA (ca. $0,02 \text{ m}^3/\text{s}$) wären im Zeitraum von 2008 bis 2017 insgesamt 180 Änderungen des Betriebszustands der WKA erforderlich gewesen, durchschnittlich 18 pro Jahr (Minimum: 6, Maximum: 32). Diese Änderungen des Betriebszustands hätten sich rechnerisch ungleich über das Jahr verteilt, am häufigsten wäre eine An- oder Abschaltung der WKA bei

dem gewählten Mindestwasserszenario in den Sommermonaten zu erwarten (Abb. 42, rechts).

Diese saisonale Verteilung der in besagtem Szenario zu erwartenden Änderungen der Betriebszustände der WKA ist insbesondere daher kritisch zu sehen, weil im Zeitraum ab Mitte April (Nase) bis Ende August (Barbe) aufschwimmende Fischbrut und kleine Jungfische der Leitfischarten auftreten. Insbesondere kleine Barben wären durch die schnellen Abflussänderungen potentiell stark betroffen, weil Brutfische (Larven) sehr schwimmschwach und empfindlich sind.

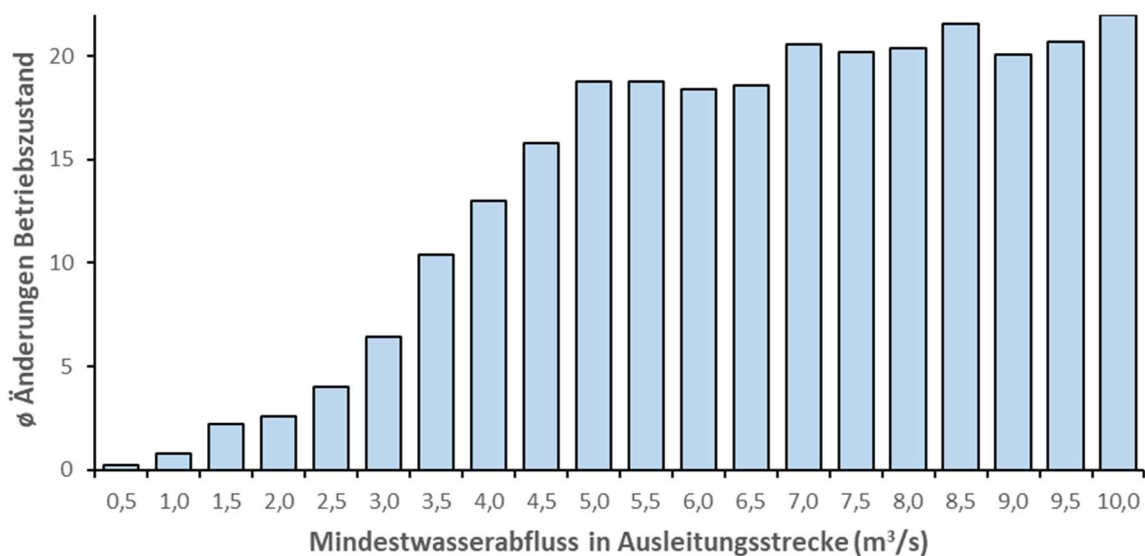


Abb. 43: Rückrechnung der Auswirkungen unterschiedlicher Mindestabflüsse (unter Berücksichtigung der geplanten Dotationen für die Fischwanderwege der WKA) auf die durchschnittliche jährliche Anzahl an An- und Abschaltungen der WKA (Datenbasis: Tagesabflüsse der Jahre 2008 – 2017).

Eine Rückrechnung auf Grundlage der durchschnittlichen Tagesabflüsse der Jahre 2008 bis 2017 zeigt den Zusammenhang zwischen einer angenommenen Mindestwassermenge und der durchschnittlichen jährlichen Anzahl an Änderungen des Betriebszustands (Abb. 43, die Dotationen der Fischwanderwege wurden berücksichtigt). Bei einer Mindestwassermenge von $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ wäre ein nahezu linearer Anstieg der Änderungen im Betriebszustand zu erwarten. Selbst vergleichsweise geringe Anhebungen der Mindestabflüsse bedingen in diesem Bereich also schon deutlich häufigere Änderungen des Betriebszustands der WKA. Ab einem Mindestwasserabfluss $> 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$ unterscheiden sich die Mindestwasserszenarien hinsichtlich der zu erwartenden An- und Abschaltungen kaum, da zusätzliche Abschaltungen dadurch kompensiert werden, dass die Anlage bei geringen Abflusserhöhungen zwischen zwei Phasen noch niedrigeren Abflusses nicht wieder eingeschaltet wird. Die Stillstandsdauer hingegen nahm entsprechend mit zunehmendem Mindestabfluss zu. Insgesamt stieg die durchschnittliche Dauer eines Anlagenstillstands je Abschaltung der WKA direkt proportional in Abhängigkeit vom Mindestabfluss

(Stillstandstage/Abschaltung = $1,06 \cdot \text{Mindestabfluss} + 0,5$; $R^2 = 0,98$). Die hier dargestellte Rückrechnung berücksichtigt jedoch nicht die saisonale Verteilung der Änderungen des Betriebszustands. Dies wäre jedoch angesichts der oben beschriebenen, saisonal unterschiedlich schwerwiegenden, Auswirkungen sinnvoll.

Um die saisonal unterschiedlichen Auswirkungen des Mindestabflusses in die Ausleitungsstrecke auf die zu erwartenden Änderungen im Betriebszustand der WKA besser einschätzen zu können wurden monatliche Schwellenwerte für den Mindestabfluss ermittelt, ab denen in einer Rückrechnung für die Jahre 2008 bis 2017 (Quelle: Gewässerkundliches Jahrbuch, Tagesabflüsse Pegel Leun, umgerechnet auf WKA Kirschhofen) vordefinierte durchschnittliche Häufigkeiten an Veränderungen des Betriebszustands auftraten (Abb. 44). Dabei wurde die geplante Dotation für die Fischwanderwege (FAA, Aalrohr, Fischabstieg) berücksichtigt.

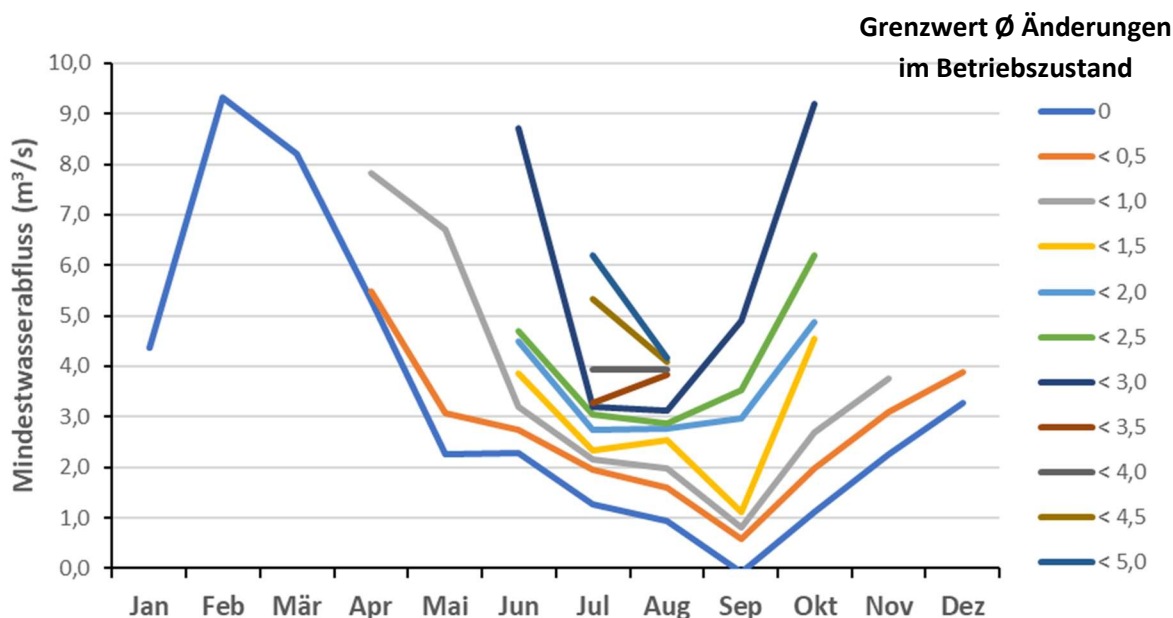


Abb. 44: Simulation der monatsbezogenen Auswirkungen unterschiedlicher Mindestabflüsse (unter Berücksichtigung der geplanten Dotationen für die Fischwanderwege der WKA) auf die durchschnittliche jährliche Anzahl an An- und Abschaltungen der WKA (Datenbasis: Tagesabflüsse der Jahre 2008 – 2017). Nähere Erläuterungen s. Fließtext.

Die graphische Darstellung ist wie folgt zu verstehen: bei Mindestabflüssen, die unterhalb der dunkelblauen Linie (Legendeneintrag: „0“) liegen, wäre es in den betrachteten Jahren im jeweiligen Monat zu keinerlei Veränderung im Betriebszustand der Anlage gekommen (im September lag in einem Jahr im betrachteten Zeitraum ein derart niedriger Lahnabfluss vor, dass die WKA unabhängig vom Mindestabfluss über die Ausleitungsstrecke rechnerisch abgeschaltet worden wäre). Bei Mindestabflüssen, die unterhalb der orangenen Linie (Legendeneintrag: „< 0,5“) liegen, wäre es in den betrachteten Jahren im jeweiligen Monat zu durchschnittlich weniger als 0,5 Veränderungen im Betriebszustand gekommen. Die weiteren Linien sind analog zu deuten, die Simulationen wurden lediglich bis durchschnittlich 5,0

monatliche Veränderungen und bis zu einem Mindestabfluss von $10 \text{ m}^3/\text{s}$ gerechnet. Bei allen Kurven, außer beim Schwellenwert für Null Änderungen im Betriebszustand, bestehen Lücken, welche mit zunehmendem Grenzwert für die durchschnittliche Anzahl an Betriebszustandsänderungen größer werden. Dies liegt darin begründet, dass mit den eingegangenen Parametern (bis zu $10 \text{ m}^3/\text{s}$) die Grenzwerte nicht erreicht wurden. So wäre etwa in den Monaten von Januar bis März in den betrachteten Jahren bei einem Mindestabfluss von $\leq 10 \text{ m}^3/\text{s}$ niemals der Grenzwert von durchschnittlich 0,5 Betriebszustandsänderungen erreicht worden.

Die Ergebnisse dieser simulierten Rückrechnungen zeigen, dass insbesondere in den Sommermonaten Juni bis September, also in den Zeiträumen, in denen viel Fischbrut aufschwimmt, die Wahrscheinlichkeit für die Notwendigkeit, die WKA häufig ab- oder wieder anzuschalten, schon bei geringen Mindestabflüssen in die Ausleitungsstrecke hoch ist. Im Korridor von $1,0$ bis $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ hätten rechnerisch bereits geringe Unterschiede im Mindestabfluss eine hohe Auswirkung auf die durchschnittliche Anzahl an Veränderungen des Betriebszustands gehabt. In Frühjahr und Herbst wären die Auswirkungen des Mindestabflusses deutlich geringer gewesen, in den Wintermonaten wäre der Einfluss des Mindestabflusses in der Ausleitungsstrecke auf die Anzahl an Veränderungen des Betriebszustands zu vernachlässigen gewesen.

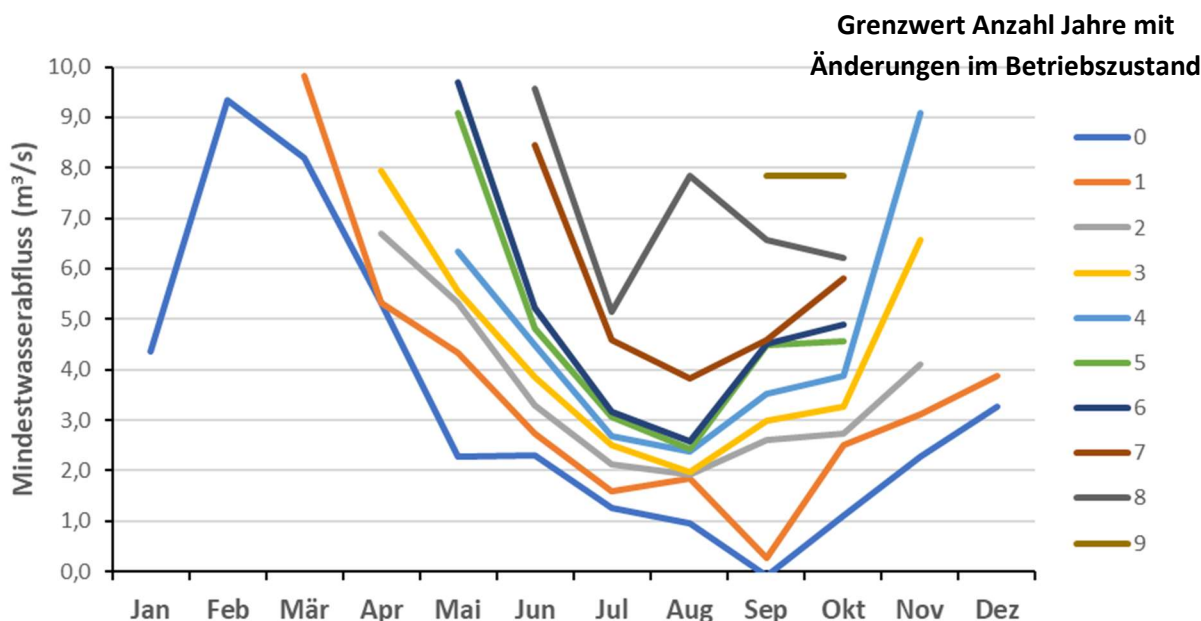


Abb. 45: Simulation der monatsbezogenen Auswirkungen unterschiedlicher Mindestabflüsse (unter Berücksichtigung der geplanten Dotationen für die Fischwanderwege der WKA) auf die Anzahl an Jahren (max. 10 Jahre) mit An- und Abschaltungen der WKA (Datenbasis: Tagesabflüsse der Jahre 2008 – 2017). Nähere Erläuterungen s. Fließtext.

Aufgrund dessen, dass sich die Rückrechnung auf lediglich zehn konkrete Jahre bezieht und somit einzelne Jahre mit vielen rechnerischen An- und Abschaltungen das Ergebnis möglicherweise verzerren könnten, wurde aus der beschriebenen Simulation noch eine

weitere Information extrahiert. Es wurde betrachtet, in wie vielen der zehn betrachteten Jahre in Abhängigkeit vom Mindestabfluss durch die Ausleitungsstrecke im jeweiligen Monat rechnerisch Veränderungen im Betriebszustand aufgetreten wären. Analog zum oben beschriebenen Vorgehen wurden dazu Grenzwerte bestimmt, ab welchen ein zusätzliches Jahr mit An- und Abschaltungen aufgetreten wäre (Abb. 45). Die Graphik ist ebenso zu interpretieren wie Abb. 44 (s.o.), unterhalb der dunkelblauen Linie wären in jenem Monat in keinem der betrachteten 10 Jahre eine Betriebszustandsänderung eingetreten, unterhalb der orangenen Linie in höchstens einem Jahr, oberhalb der braunen Linie (Legendeneintrag: „9“) wären in allen zehn Jahren An- oder Abschaltungen erfolgt.

Diese Auswertung zeigt sehr ähnliche Ergebnisse wie die Betrachtung der Anzahl an Änderungen des Betriebszustands, so dass davon ausgegangen werden kann, dass die Ergebnisse nicht lediglich durch einzelne Jahre mit besonderen Bedingungen überprägt wurden, sondern aussagekräftig für die betrachteten Jahre sind.

Insgesamt sprächen die Ergebnisse der Analysen der Auswirkungen verschiedener Mindestabflüsse auf die Häufigkeit und zeitliche Verteilung von Änderungen des Betriebszustands der WKA durch Rückrechnung auf die Jahre 2008 bis 2017 dafür, in den für Fischbrut wichtigen Sommermonaten einen möglichst geringen Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke vorzusehen, während dieser Aspekt in den Wintermonaten vernachlässigbar ist. Welche Priorität im Ausgleich der Zielkonflikte bei der Bestimmung des Mindestabflusses der Vermeidung von Änderungen im Betriebszustand einzuräumen ist, muss jedoch im Zusammenhang mit der Habitatsignung der Ausleitungsstrecke für Fischbrut und Jungfische sowie in der Abwägung mit anderen vom Mindestabfluss abhängigen Aspekten diskutiert werden (s. Kap. Fazit).

7.2 Andere Änderungen des Betriebszustands

Neben den unter Kap. 6.1 beschriebenen Änderungen des Betriebszustands aufgrund geringer Wasserführung treten aus verschiedenen Gründen zusätzliche Änderungen des Betriebszustands auf. Dies sind zum einen betriebsbedingte Gründe, so wird die Anlage derzeit kurzzeitig abgeschaltet, wenn insbesondere grobes Schwemmgut über den Freischuss aus der WKA gespült wird. Auch bei Wartungsarbeiten und Reparaturen kommt es gelegentlich zur Abschaltung der Turbinen, auch über längere Zeiträume (meist betrifft dies jedoch nur eine der beiden Turbinen). Schließlich wird die Anlage auch bei bekannter oder vermuteter Wanderung von Aalen oder Lachssmolts im Zuge des Turbinenmanagements ausgeschaltet.

Ein Turbinenmanagement sollte nach Umsetzung des geplanten Abstiegskonzepts obsolet werden, so dass dieser Anlass für Abschaltungen der WKA in absehbarer Zukunft entfallen sollte. Abschaltungen zu Wartungs- oder Reparaturdurchführung sind unvermeidbar.

7.3 Auswirkungen starker Oberwasserspiegelschwankungen

Im Zuge der Abflussmessungen bei der Untersuchung der Strömungsprofile konnte der Effekt der Schleusentätigkeit auf die Abflüsse in die Ausleitungsstrecke näherungsweise quantifiziert

werden (s. Kap. 5.3.3). Sehr ausgeprägte Oberwasserschwankungen, welche bei vorangegangenen Ortsterminen dokumentiert wurden (s. Kap. 2.3.5), traten jedoch während dieser Messungen nicht auf und konnten somit nicht erfasst werden. Zwar werden die Ergebnisse der Oberwasserstandsmessungen aufgezeichnet, die entsprechenden Daten standen jedoch nicht zur Auswertung zur Verfügung. Somit konnte weder die Häufigkeit noch die Ausprägung dieser Schwankungen im Oberwasserpegel festgestellt werden, welche durch Veränderungen des Wehrüberfalls auch zu starken Abflussschwankungen in der Ausleitungsstrecke führen.

8 Synthese

8.1 Zielkonflikte

Im Rahmen der Erstellung des vorliegenden Gutachtens wurden drei Themenkomplexe herausgearbeitet, in welchen ökologische Zielkonflikte bezüglich der Ermittlung des optimalen Mindestabflusses in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen identifiziert wurden (Kap. 4). Die Effekte des Mindestabflusses auf die einzelnen ökologischen Wirkfaktoren wurden in der Folge mit dem Ziel untersucht, die beschriebenen Zielkonflikte nach Möglichkeit aufzulösen.

8.2 Themenkomplex „Habitatangebot“

Im Themenkomplex „Habitatangebot“ (Kap. 5) konnte auf Grundlage von Messungen bei unterschiedlichen Abflussszenarien herausgearbeitet werden, dass auch bei Niedrigwassersituationen eine Erhöhung des Mindestabflusses (untersucht bis 6 m³/s) zu lediglich geringen Zugewinnen an geeigneten Habitaten für verschiedene Altersstadien rheophiler Fischarten führen würde. Als Ursachen für diese geringe positive Wirkung höherer Abflüsse sind der hohe Ausbaugrad und die Strukturarmut der Ausleitungsstrecke, sowie vor allem das äußerst geringe Gefälle der Ausleitungsstrecke unterhalb des zweiten Wehres, zu nennen. Aus letzterem Grund ist bei höheren Lahnabflüssen zudem mit einem noch ausgedehnteren Rückstau in die Ausleitungsstrecke aus dem Unterwasser zu rechnen, welcher die lokalen Strömungsgeschwindigkeiten zusätzlich abbremst. Auch als Rückzugsgebiet bei Hochwasser bzw. als Winterhabitat weist die Ausleitungsstrecke, unabhängig von der Höhe des Mindestabflusses, kein ausgeprägtes Potential auf.

Die Zusammensetzung des lokalen Fischbestands der Lahn im Unterwasser der WKA, welcher als verarmt und von hinsichtlich ihrer Strömungspräferenzen indifferenten, generalistischen Arten geprägt war, weist auf deutliche Defizite hinsichtlich des lokalen Habitatangebots hin. Auch in der Lahn unterhalb der WKA fehlen weitgehend flach überströmte Kiesbereiche, welche für die Ausprägung einer für diesen Abschnitt der Lahn als typisch anzunehmenden Artenzusammensetzung notwendig wären. Theoretisch böte die Ausleitungsstrecke das Potential, entsprechende Lebensräume bereit zu stellen. Dies kann allerdings nicht ausschließlich durch eine Erhöhung des Mindestabflusses erreicht werden, sondern es wären gleichzeitig großräumige Restrukturierungen (z.B. eine Anrampung des unteren Wehres) innerhalb der Ausleitungsstrecke notwendig. Derzeit kann nicht mit der Durchführung derartiger Maßnahmen gerechnet werden. Somit muss dasjenige Potential der Ausleitungsstrecke als Habitat für rheophile Fischarten, welches lediglich durch die Erhöhung des Mindestabflusses adressiert werden kann, als sehr gering bezeichnet werden. Auch für die in der Ausleitungsstrecke untersuchte Molluskenfauna, welche auch drei Großmuschelarten und eine Wasserschneckenart mit Rote-Liste-Status beinhaltete, kann kein zusätzlicher positiver Effekt eines Mindestwasserabflusses von 4 m³/s oder mehr erwartet werden, während bei einem Mindestabfluss in der Größenordnung von 2 m³/s deutlich positive Effekte für die heimischen Arten wahrscheinlich sind.

Bei der Beurteilung der Auswirkungen des Mindestabflusses auf das Habitatangebot der Leitfischarten und anderer rheophiler Arten ist auch das Oberwasser der WKA betroffen. Je höher das Stauziel gewählt wird, desto stärker ist mit einer Verkleinerung geeigneter Habitatflächen für strömungsliebende Fischarten zu rechnen.

Insgesamt kann für den Themenkomplex der Habitatverfügbarkeit für rheophile Fischarten und schutzwürdige Weichtiere zusammengefasst werden, dass ein Mindestabfluss in der Größenordnung von 2,0 bis 2,5 m³/s unserer Auffassung nach einen optimalen Zielwert für die Ausleitungsstrecke darstellen würde.

8.3 Themenkomplex „Durchgängigkeit“

Generell ist es im Falle der WKA Kirschhofen nicht zielführend, eine saisonale Zusatzdotierung der Ausleitungsstrecke während der Reproduktionswanderungen der anadromen Fischarten anzustreben. Durch den fehlenden Aufstiegsweg in der Ausleitungsstrecke und die geringe Eignung der Ausleitungsstrecke als Laichhabitat wäre eine Erhöhung des Abflusses in der Ausleitungsstrecke in diesen Zeiten kontraproduktiv. Generell wäre die Einrichtung einer FAA in der Ausleitungsstrecke aus fischökologischer Perspektive zwar erforderlich, es ist jedoch auf absehbare Zeit nicht mit einer entsprechenden Maßnahme zu rechnen.

Nach Analyse der zur Verfügung stehenden Daten und eigenen Messungen muss davon ausgegangen werden, dass die Problematik einer potentiellen Konkurrenzströmung aus der Ausleitungsstrecke, welche zu einem Sackgasseneffekt für aufwanderwillige Fische führen könnte, bei Mindestabflusssituationen als vernachlässigbar einzuschätzen ist (Kap. 5, Kap. 6). Als wesentlich folgenschwerer für die aufwärtsgerichtete Durchgängigkeit wird hingegen der Umstand bewertet, dass mit der Höhe des festgelegten Mindestabflusses die Wahrscheinlichkeit für einen Stillstand der WKA steigt, mit der Folge, dass die FAA nicht mehr auffindbar ist. Am langjährigen Abflussmittel orientiert sollte (wenn keine saisonalen Anpassungen vorgesehen werden) der Mindestabfluss nicht höher als ~ 2,1 m³/s gewählt werden, da sonst mit Abschaltungen der WKA auch oberhalb von Q₃₀ gerechnet werden muss. Die bei einem Mindestabfluss von 2 m³/s oder weniger zu erwartenden Stillstandstage lägen zudem im Zeitfenster von Juli bis Oktober, und damit außerhalb der Zeiträume der Reproduktionswanderungen der Zielfischarten.

Die abwärtsgerichtete Durchgängigkeit der WKA Kirschhofen soll durch die geplanten Installationen eines permanenten Fischabstiegs sowie eines Aalrohrs sichergestellt werden. Bis dieses Fischabstiegskonzept im Turbinenkanal umgesetzt ist, stellt derjenige Anteil des Mindestabflusses, der durch Wehrüberfall abfließt, den einzigen ganzjährigen Fischabstiegsweg dar (derzeit wird während der Abwanderung von Smolts und Blankaalen ein zeitlich beschränktes Turbinenmanagement betrieben). Entsprechend wäre ein hoher Wehrüberfall tendenziell von positiver Wirkung auf die abwärts gerichtete Durchgängigkeit, allerdings mit jenen Nachteilen, welche mit einem erhöhten Stauziel einhergehen (s.o.). Sobald das beschriebene Abstiegskonzept jedoch vollständig und funktional installiert wurde,

hat zusätzlicher Mindestabfluss in der Ausleitungsstrecke voraussichtlich keinen bedeutenden zusätzlichen, positiven Effekt mehr auf die abwärtsgerichtete Durchgängigkeit für Fische, und somit wäre auch der Zielkonflikt zwischen aufwärts und abwärts gerichteter Durchgängigkeit aufgelöst.

Für den Themenkomplex der Durchgängigkeit kann zusammengefasst werden, dass saisonale Zusatzdotationen während der Reproduktionszeiten der Zielarten kontraproduktiv wirken und kein Mindestabfluss angestrebt werden sollte, der oberhalb von $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ liegt. Defizite in der abwärtsgerichteten Durchgängigkeit können durch die geplanten zusätzlichen Abstiegswege ausgeglichen werden und nicht durch eine Erhöhung des Wehrüberfalls.

8.4 Themenkomplex „Lebensraumstabilität“

Im Themenkomplex „Lebensraumstabilität“ konnte aufgezeigt werden, dass mit zunehmendem Mindestabfluss schon bei Abflüssen $\leq 4 \text{ m}^3/\text{s}$ die Anzahl an Änderungen im Betriebszustand (An- und Abschalten der WKA, mit entsprechenden starken Abflussschwankungen in der Ausleitungsstrecke) schnell ansteigt (Kap. 7). Gleichzeitig wirken sich Abflussschwankungen relativ gesehen stärker aus, je niedriger der Mindestabfluss gewählt wird. Somit kann für diesen Themenkomplex der Zielkonflikt nicht vollumfänglich aufgelöst werden, sondern lediglich ein Mindestabfluss empfohlen werden, der einen Kompromiss zwischen beiden Aspekten darstellt. Bei $1,5$ bis $2 \text{ m}^3/\text{s}$ Mindestabfluss träten Änderungen des Betriebszustandes relativ selten auf, und sie würden sich weitgehend auf die Monate Juli bis September beschränken. Sie lägen also außerhalb der Reproduktionswanderzeiten der Zielarten. Gleichzeitig wäre die relative Zustandsänderung in der Ausleitungsstrecke wesentlich geringer ausgeprägt als beim in der Vergangenheit realisierten Mindestabfluss.

8.5 Kontrolle der Abflusszustände

Zur präzisen Kontrolle der momentanen Abflusszustände über das Wehr steht ab dem Nov. 2021 ein Höhenbolzen in Wehrrnähe zur Verfügung. Dessen Höhendaten sind:

- Höhe Bolzen: **127,907 mNHN**
- Abstich zum Tiefstpunkt der Wehrkrone: $1,207 \text{ m}$
- Abstich zur Mittelhöhe der Wehrkrone: $1,159 \text{ m}$
- Abstich zur OW-Sollhöhe für $2 \text{ m}^3/\text{s}$: $1,113 \text{ m}$

Mit Hilfe eines Nivelliergerätes kann damit die Lage des Oberwasserspiegels vergleichsweise wenig aufwändig genau kontrolliert werden. Es ist vorgesehen, dass die Daten der Pegelsonde von der Genehmigungsbehörde direkt durch eine technische Vorrichtung im Kraftwerk mittels Fernzugriff eingesehen werden können.

8.6 Fazit – Mindestabflussempfehlung in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen

Nach der Analyse der unterschiedlichen Aspekte der ökologischen Effekte verschiedener Mindestabflussszenarien in der Ausleitungsstrecke der WKA Kirschhofen empfehlen wir, einen ganzjährigen Mindestabfluss von $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ festzulegen. Unserer Überzeugung nach stellt diese Empfehlung den bestmöglichen Kompromiss zwischen dem abflussabhängigen Habitatangebot für rheophile Fischarten und geschützte Weichtiere bei gleichzeitig höchstmöglicher Lebensraumstabilität und Durchgängigkeit am Standort Kirschhofen dar.



Marburg, 15.02.2022

Dr. Dirk Hübner

9 Quellennachweise

- HASSINGER, R. & HÜBNER D. (2009): Entwicklung eines neuartigen Aal-Abstiegssystems mithilfe von Laborversuchen. Korrespondenz Wasserwirtschaft (KW) 2 NR. 5: 276-281
- HASSINGER, R. (2014): Verbesserung der Einstiegssituation am Fischpass der Wasserkraftanlage Kirschhofen / Lahn. Im Auftrag der Rudolph & Co. Wasserwerke oHG. 5 S.
- HUET, M (1949): Apercu des relations entre la pente et les populations piscioles des eaux courantes. Schweiz. Z. Hydrol. 11:322-351
- HUET, M. (1962): Influence du courant sur la distribution des poissons dans les eaux courantes. - Schweiz. Z. Hydrol. 24: 412-431.
- HÜBNER, D. (2009): Funktionskontrolle eines neuartigen Aalabstieges mit unterschiedlicher Einstiegsanordnung einschließlich des hydraulischen Tests eines neuartigen fischschonenden Rechens –Laboruntersuchungen- Im Auftrag der Versuchsanstalt und Prüfstelle für Umwelttechnik und Wasserbau. Univ. Kassel, 61 S.
- HÜBNER, D. (2013): Funktionskontrolle des Fischeaufstieges an der Wasserkraftanlage Kirschhofen (Lahn). Im Auftrag der Eli Kraft AG Borken-Dillich. 25 S.
- HÜBNER, D. (2014): Funktionskontrolle des Smoltabstieges über eine Rutsche an der WKA Kirschhofen. Im Auftrag der Eli Kraft AG Borken-Dillich. 14 S.
- HÜBNER, D. (2016): Funktionskontrolle des Aalabstiegs über eine Rutsche an der Wasserkraftanlage Kirschhofen (Lahn). Im Auftrag der Eli Kraft AG Borken-Dillich. 12 S.
- HÜBNER, D. (2020): Monitoring der Smoltabwanderung in der Weilmündung zum Turbinenmanagement der Wasserkraftanlagen Kirschhofen und Diez an der Lahn. Im Auftrag der ELIKRAFT AG. 22 S.
- HÜBNER, D. (2021): Turbinenmanagement für die Wasserkraftanlagen Kirschhofen und Diez (Lahn) zum Schutz der abwandernden Blankaale in der Saison 2014/2015 bis 2020/2021. Im Auftrag der ELIKRAFT AG. 22 S.
- LAWA (2018): Leitfaden zur Hydrometrie des Bundes und der Länder – Pegelhandbuch. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser Stuttgart 2018 (erhältlich unter https://www.lawa.de/documents/02_anhang_2_lawa_pegelhandbuch_2_3_1552303807.pdf)

REGIERUNGSPRÄSIDIUM GIEßEN (2019): Mindestwasserberechnung WKA Kirschhofen an der Lahn.

Aufgestellt am 28.06.2019.

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

BNatschG (2021): Bundesnaturschutzgesetz vom 29. Juli 2009 (BGBl. I S. 2542), das zuletzt durch Artikel 5 des Gesetzes vom 25. Februar 2021 (BGBl. I S. 306) geändert worden ist.

Jungbluth, J.H. (1995): Rote Liste der bestandsgefährdeten Schnecken und Muscheln Hessens. 3. überarb. u. erg. Fassung. Bearbeitungsstand: Oktober 1995. – Hessisches Ministerium des Innern und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz. - 64 S. Wiesbaden.

Jungbluth, J.H. & Knorre, D. von (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Binnenmollusken (Schnecken und Muscheln; Gastropoda et Bivalvia) Deutschlands. – In: Binot-Hafke, M.; Balzer, S.; Becker, N.; Gruttke, H.; Haupt, H.; Hofbauer, N.; Ludwig, G.; Matzke-Hajek, G. & Strauch, M. (Red.): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). – Münster (Landwirtschaftsverlag). – Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (3): 647-708

10 Anhang

10.1 Querprofilmessungen

Tab. A1: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 1 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 2,0 m und 23,95 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	1	2,5	8,5	0,03	0,00	0,00
2	1	3	41	0,11	0,13	0,03
2	1	4	77	0,17	0,13	0,05
2	1	6	95	0,61	0,47	0,36
2	1	8	95	0,47	0,43	0,30
2	1	10	93	0,21	0,25	0,25
2	1	12	104	0,15	0,09	0,02
2	1	14	106	0,06	0,02	0,01
2	1	16	96	-0,01	-0,01	-0,01
2	1	18	74	-0,06	-0,05	-0,07
2	1	20	57	-0,08	-0,07	0,00
2	1	21	49	-0,18	-0,18	-0,15
2	1	21,5	43	-0,20	-0,20	-0,10
2	1	22	28	-0,16	-0,12	-0,06
2	1	22,5	17	0,05	0,00	0,02
2	1	23	8	0,03	0,00	0,00

Tab. A2: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 2 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0 m und 20,4 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	2	0	4	0,00	0,00	0,00
2	2	0,5	8	0,05	0,00	0,00
2	2	1	20	0,13	0,13	0,11
2	2	2	43	0,26	0,22	0,10
2	2	4	62	0,37	0,37	0,36
2	2	6	55	0,50	0,47	0,33
2	2	8	44	0,51	0,48	0,19
2	2	10	35	0,49	0,34	0,32
2	2	12	25	0,36	0,18	0,15
2	2	14	35	0,30	0,25	0,17
2	2	16	41	0,24	0,19	0,12
2	2	18	43	0,10	0,07	0,05
2	2	19	38	0,04	0,03	0,00
2	2	19,5	30	0,02	0,02	0,00

2	2	20	25	0,00	0,00	0,00
---	---	----	----	------	------	------

Tab. A3: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 3 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0 m und 16,83 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	3	0	15	0,01	0,00	0,00
2	3	0,5	44	0,05	0,01	0,01
2	3	1	62	0,03	0,10	0,15
2	3	2	83	0,23	0,18	0,16
2	3	4	102	0,42	0,30	0,17
2	3	6	95	0,37	0,33	0,17
2	3	8	80	0,19	0,15	0,13
2	3	10	69	0,10	0,13	0,04
2	3	12	48	0,04	0,04	0,02
2	3	14	27	0,01	0,01	0,00
2	3	15	16	0,00	0,00	0,00
2	3	15,5	7	0,00	0,00	0,00
2	3	16	6	0,00	0,00	0,00
2	3	16,5	2	0,00	0,00	0,00

Tab. A4: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 4 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,95 m und 17,90 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	4	1,45	32	0,07	0,07	0,02
2	4	2	47	0,14	0,08	0,10
2	4	4	116	0,27	0,23	0,23
2	4	6	125	0,25	0,22	0,22
2	4	8	121	0,28	0,19	0,11
2	4	10	112	0,14	0,09	0,12
2	4	12	95	0,01	0,08	0,08
2	4	14	71	0,01	0,01	0,02
2	4	16	39	-0,02	-0,01	0,00
2	4	16,5	34	0,00	0,00	0,00
2	4	17	25	0,00	0,00	0,00
2	4	17,5	13	0,00	0,00	0,00

Tab. A5: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 5 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 1,5 m und 18,45 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	5	2	3	0,00	0,00	0,00
2	5	2,5	35	0,01	0,02	0,01
2	5	3	75	0,02	0,04	0,04
2	5	4	99	0,10	0,13	0,07
2	5	6	140	0,25	0,23	0,10
2	5	8	142	0,23	0,23	0,06
2	5	10	116	0,19	0,15	0,10
2	5	12	99	0,18	0,15	0,13
2	5	14	85	0,12	0,12	0,07
2	5	16	64	0,07	0,06	0,03
2	5	17	50	0,06	0,04	0,03
2	5	17,5	42	0,04	0,05	0,01
2	5	18	28	0,04	0,01	0,01

Tab. A6: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 6 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,6 m und 17,00 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	6	1	7	0,01	0,00	0,00
2	6	1,5	18	0,00	0,01	0,01
2	6	2	47	0,16	0,12	0,04
2	6	4	92	0,29	0,20	0,09
2	6	6	115	0,24	0,22	0,13
2	6	8	121	0,23	0,22	0,09
2	6	10	95	0,17	0,20	0,10
2	6	12	66	0,14	0,17	0,11
2	6	14	45	0,11	0,07	0,06
2	6	15	36	0,09	0,07	0,05
2	6	16	29	0,04	0,02	0,01
2	6	16,5	17	0,00	0,00	0,00

Tab. A7: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 7 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,9 m und 18,5 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	7	1	6	0,00	0,00	0,00
2	7	1,5	13	0,01	0,00	0,00
2	7	2	15	0,01	0,00	0,00
2	7	3	30	0,01	0,00	0,00
2	7	4	43	0,02	0,06	0,03
2	7	6	89	0,13	0,10	0,03
2	7	8	105	0,23	0,15	0,06
2	7	10	117	0,21	0,17	0,00
2	7	12	120	0,30	0,20	0,08
2	7	14	94	0,17	0,23	0,14
2	7	16	44	0,08	0,09	0,08
2	7	17	43	0,03	0,03	0,03
2	7	17,5	33	0,02	0,02	0,01
2	7	18	29	0,01	0,01	0,00

Tab. A8: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 8 bei Abfluss von 2 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 2,8 m und 31,8 m. Grau unterlegter Bereich gibt Strömungsrichtung aus dem Turbinenauslauf an.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
2	8	3	17	0,00	0,00	0,00
2	8	3,5	23	0,00	0,00	0,00
2	8	4	32	0,02	0,02	0,03
2	8	5	60	0,23	0,14	0,03
2	8	6	87	0,15	0,21	0,07
2	8	8	151	0,22	0,21	0,15
2	8	10	164	0,20	0,24	0,24
2	8	12	168	0,70	0,54	0,75
2	8	14	195	0,63	0,60	0,55
2	8	16	202	0,84	0,62	0,60
2	8	18	193	0,79	0,65	0,52
2	8	20	177	0,81	0,90	0,67
2	8	22	159	0,78	0,57	0,48
2	8	24	168	0,85	0,65	0,63
2	8	26	166	0,73	0,72	0,26
2	8	28	127	0,60	0,52	0,26
2	8	29	117	0,70	0,61	0,47
2	8	30	95	0,61	0,74	0,58
2	8	30,5	76	0,59	0,68	0,48
2	8	31	65	0,43	0,55	0,43
2	8	31,5	52	0,26	0,43	0,31

Tab. A9: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 1 bei Abfluss von 4 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 1,15 m und 33,5 m, im Bereich zwischen 26 m und 30 m Kiesbank oberhalb Wasserspiegel.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]	
4	1	1,5	18	0,00	0,00	0,00	
4	1	2	28	-0,03	-0,04	-0,02	
4	1	2,5	56	-0,03	-0,02	-0,04	
4	1	3	52	-0,09	-0,12	-0,09	
4	1	4	115	-0,09	-0,07	-0,07	
4	1	6	132	0,07	0,02	0,05	
4	1	8	130	0,04	0,03	0,08	
4	1	10	131	0,15	0,07	0,09	
4	1	12	138	0,36	0,26	0,21	
4	1	14	141	0,33	0,30	0,24	
4	1	16	132	0,22	0,13	0,17	
4	1	18	115	0,20	0,26	0,19	
4	1	20	98	0,08	0,11	0,10	
4	1	22	73	0,03	0,03	0,01	
4	1	23	52	0,02	0,02	0,02	
4	1	24	41	0,01	0,02	0,02	
4	1	24,5	37	0,03	0,03	0,03	
4	1	25	22	0,03	0,03	0,03	
4	1	25,5	7	0,03	0,00	0,00	
4	1	26	2	0,00	0,00	0,00	
4	1	Kiesbank					
4	1	30	11	0,00	0,00	0,00	
4	1	30,5	14	0,00	0,00	0,00	
4	1	31	18	0,00	0,00	0,00	
4	1	31,5	15	0,00	0,00	0,00	
4	1	32	8	0,00	0,00	0,00	
4	1	32,5	2	0,00	0,00	0,00	

**Tab. A10: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 2 bei Abfluss von 4 m³/s.
Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -1,02 m und 21,5 m.**

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	2	-0,5	27	0,01	0,02	0,01
4	2	0	48	0,01	0,03	0,00
4	2	1	59	0,03	0,07	0,04
4	2	2	80	0,18	0,13	0,07
4	2	4	104	0,35	0,34	0,29
4	2	6	94	0,40	0,32	0,16
4	2	8	87	0,41	0,33	0,15
4	2	10	74	0,37	0,36	0,22
4	2	12	85	0,29	0,28	0,16
4	2	14	69	0,27	0,22	0,07
4	2	16	80	0,24	0,23	0,15
4	2	18	81	0,13	0,10	0,07
4	2	19	75	0,10	0,09	0,06
4	2	20	72	0,03	0,03	0,01
4	2	20,5	58	0,00	0,01	0,00
4	2	21	23	0,01	0,01	0,00
4	2	21,5	9	0,00	0,01	0,00

Tab. A11: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 3 bei Abfluss von 4 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -0,75 m und 20,5 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	3	-0,5	35	0,00	0,00	0,00
4	3	0	49	0,04	0,02	0,02
4	3	0,5	82	0,03	0,04	0,04
4	3	1	102	0,01	0,04	0,04
4	3	2	126	0,07	0,09	0,06
4	3	4	142	0,12	0,24	0,14
4	3	6	135	0,30	0,22	0,17
4	3	8	125	0,31	0,22	0,21
4	3	10	112	0,30	0,24	0,16
4	3	12	92	0,30	0,24	0,16
4	3	14	67	0,23	0,18	0,10
4	3	16	53	0,23	0,21	0,12
4	3	17	47	0,11	0,11	0,07
4	3	18	39	0,06	0,08	0,05
4	3	19	30	0,03	0,04	0,04
4	3	19,5	20	0,01	0,02	0,01
4	3	20	15	0,01	0,01	0,01
4	3	20,5	7	0,01	0,00	0,00

Tab. A12: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 4 bei Abfluss von 4 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -0,7 m und 19 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	4	-0,5	10	0,00	0,00	0,00
4	4	0	17	0,03	0,00	0,01
4	4	0,5	34	0,06	0,04	0,03
4	4	1	27	0,09	0,08	0,06
4	4	2	91	0,15	0,12	0,15
4	4	4	164	0,27	0,32	0,26
4	4	6	161	0,29	0,18	0,25
4	4	8	160	0,29	0,31	0,21
4	4	10	149	0,26	0,23	0,20
4	4	12	137	0,17	0,13	0,11
4	4	14	106	0,08	0,04	0,07
4	4	16	73	0,07	0,02	0,01
4	4	17	63	0,03	0,03	0,03
4	4	17,5	47	0,02	0,03	0,03
4	4	18	36	0,01	0,01	0,01
4	4	18,5	15	0,00	0,00	0,00

**Tab. A13: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 5 bei Abfluss von 4 m³/s.
Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,75 m und 19,1 m.**

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	5	1	6	0,00	0,00	0,00
4	5	1,5	36	0,01	0,02	0,01
4	5	2	34	0,07	0,03	0,02
4	5	4	142	0,15	0,11	0,08
4	5	6	172	0,20	0,32	0,26
4	5	8	176	0,24	0,24	0,17
4	5	10	154	0,28	0,24	0,25
4	5	12	134	0,22	0,21	0,17
4	5	14	119	0,12	0,19	0,15
4	5	16	100	0,09	0,10	0,14
4	5	17	86	0,04	0,07	0,06
4	5	18	59	0,04	0,05	0,05
4	5	18,5	30	-0,02	-0,02	0,00
4	5	19	3	0,00	0,00	0,00

**Tab. A14: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 6 bei Abfluss von 4 m³/s.
Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -1,03 m und 18,15 m.**

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	6	-1	1	0,00	0,00	0,00
4	6	-0,5	14	0,02	0,00	0,00
4	6	0	32	0,07	0,07	0,07
4	6	0,5	15	0,15	0,09	0,04
4	6	1	42	0,22	0,25	0,01
4	6	2	62	0,22	0,19	0,06
4	6	4	122	0,31	0,28	0,24
4	6	6	160	0,28	0,28	0,17
4	6	8	154	0,24	0,24	0,13
4	6	10	128	0,25	0,23	0,13
4	6	12	101	0,21	0,19	0,13
4	6	14	76	0,15	0,15	0,08
4	6	15	72	0,09	0,13	0,07
4	6	16	63	0,10	0,09	0,04
4	6	16,5	46	0,07	0,05	0,05
4	6	17	34	0,02	0,00	0,00
4	6	17,5	15	0,00	0,00	0,00
4	6	18	2	0,00	0,00	0,00

**Tab. A15: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 7 bei Abfluss von 4 m³/s.
Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -0,65 m und 18,5 m.**

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	7	-0,5	3	0,00	0,00	0,00
4	7	0	25	0,00	0,00	0,00
4	7	0,5	28	0,00	0,02	0,02
4	7	1	44	0,01	0,02	0,01
4	7	2	54	0,04	0,02	0,04
4	7	4	83	0,15	0,15	0,03
4	7	6	124	0,27	0,17	0,14
4	7	8	142	0,25	0,17	0,01
4	7	10	158	0,27	0,19	0,12
4	7	12	161	0,27	0,17	0,21
4	7	14	135	0,20	0,16	0,14
4	7	16	100	0,08	0,10	0,10
4	7	17	86	0,03	0,05	0,03
4	7	17,5	73	0,02	0,04	0,03
4	7	18	45	0,03	0,06	0,04
4	7	18,5	40	0,03	0,03	0,02

Tab. A16: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 8 bei Abfluss von 4 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 3,05 m und 32,5 m. Grau unterlegter Bereich gibt Strömungsrichtung aus dem Turbinenauslauf an.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
4	8	3,5	14	0,00	0,00	0,00
4	8	4	31	0,00	0,00	0,00
4	8	4,5	42	0,11	0,06	0,04
4	8	5	55	0,25	0,26	0,07
4	8	6	101	0,33	0,32	0,04
4	8	8	144	0,41	0,39	0,24
4	8	10	159	0,36	0,39	0,34
4	8	12	162	0,37	0,36	0,33
4	8	14	183	0,71	0,72	0,55
4	8	16	193	0,75	0,61	0,57
4	8	18	188	0,66	0,70	0,54
4	8	20	168	0,27	0,65	0,53
4	8	22	152	0,63	0,64	0,42
4	8	24	163	0,60	0,58	0,40
4	8	26	160	0,65	0,59	0,14
4	8	28	126	0,61	0,42	0,07
4	8	29	116	0,57	0,23	0,23
4	8	30	86	0,63	0,43	0,36
4	8	31	65	0,45	0,43	0,35
4	8	32,5	43	0,13	0,23	0,23

Tab. A17: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 1 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,9 m und 33,4 m, im Bereich zwischen 26 m und 29,5 m Kiesbank oberhalb Wasserspiegel.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]	
6	1	1	2	0,00	0,00	0,00	
6	1	1,5	20	-0,02	-0,01	-0,01	
6	1	2	36	0,14	0,09	0,05	
6	1	3	83	0,14	0,15	0,10	
6	1	4	120	0,15	0,14	0,03	
6	1	6	140	0,08	0,05	0,03	
6	1	8	140	0,09	0,04	0,04	
6	1	10	140	0,15	0,14	0,15	
6	1	12	150	0,14	0,33	0,27	
6	1	14	154	0,58	0,51	0,48	
6	1	16	144	0,35	0,36	0,29	
6	1	18	121	0,36	0,40	0,30	
6	1	20	108	0,18	0,22	0,18	
6	1	22	79	0,06	0,07	0,16	
6	1	23	58	0,03	0,04	0,03	
6	1	24	48	0,02	0,01	0,02	
6	1	25	26	-0,06	-0,02	-0,04	
6	1	25,5	13	-0,03	-0,03	-0,03	
6	1	Kiesbank					
6	1	29,5	7	0,00	0,00	0,00	
6	1	30	15	0,00	0,00	0,00	
6	1	30,5	19	0,00	0,00	0,00	
6	1	31	22	0,00	0,00	0,00	
6	1	31,5	24	0,00	0,00	0,00	
6	1	32	17	0,00	0,00	0,00	
6	1	32,5	15	0,00	0,00	0,00	
6	1	33	9	0,00	0,00	0,00	

Tab. A18: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 2 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -1,28 m und 21,79 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	2	-1	16	0,02	0,01	0,01
6	2	-0,5	33	0,02	0,01	0,01
6	2	0	51	0,05	0,01	0,02
6	2	1	68	0,15	0,15	0,07
6	2	2	87	0,22	0,25	0,23
6	2	4	115	0,47	0,51	0,30
6	2	6	100	0,61	0,60	0,49
6	2	8	95	0,57	0,55	0,40
6	2	10	84	0,40	0,53	0,31
6	2	12	73	0,47	0,41	0,34
6	2	14	79	0,44	0,38	0,19
6	2	16	87	0,29	0,31	0,18
6	2	18	89	0,04	0,16	0,14
6	2	20	79	0,01	0,00	0,00
6	2	21	30	0,00	0,00	0,00
6	2	21,5	14	0,00	0,00	0,00

Tab. A19: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 3 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -1,2 m und 20,5 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	3	-1	10	0,00	0,00	0,00
6	3	-0,5	22	0,01	0,02	0,01
6	3	0	60	0,01	0,01	0,01
6	3	0,5	86	0,03	0,02	0,02
6	3	1	109	0,02	0,05	0,06
6	3	2	125	0,09	0,16	0,08
6	3	4	150	0,23	0,31	0,16
6	3	6	145	0,41	0,42	0,11
6	3	8	131	0,54	0,27	0,23
6	3	10	116	0,44	0,34	0,24
6	3	12	99	0,43	0,31	0,27
6	3	14	77	0,40	0,40	0,23
6	3	16	84	0,32	0,11	0,10
6	3	18	48	0,07	0,08	0,09
6	3	19	39	0,04	0,04	0,03
6	3	19,5	24	0,00	0,00	0,00
6	3	20	24	0,00	0,00	0,00
6	3	20,5	17	0,00	0,00	0,00

Tab. A20: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 4 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -1 m und 19 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	4	-0,5	20	0,02	0,02	0,01
6	4	0	26	0,01	0,01	0,01
6	4	0,5	40	0,10	0,09	0,05
6	4	1	51	0,12	0,07	0,03
6	4	2	97	0,18	0,16	0,04
6	4	4	169	0,24	0,43	0,27
6	4	6	169	0,42	0,33	0,35
6	4	8	170	0,40	0,29	0,22
6	4	10	156	0,25	0,29	0,21
6	4	12	141	0,16	0,24	0,10
6	4	14	118	0,09	0,09	0,11
6	4	16	87	0,01	0,01	0,01
6	4	18	51	0,01	0,01	0,01
6	4	18,5	29	0,00	0,00	0,00
6	4	19	9	0,00	0,00	0,00

Tab. A21: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 5 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 0,7 m und 19,6 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	5	1	22	0,01	0,01	0,01
6	5	1,5	42	0,03	0,04	0,01
6	5	2	55	0,11	0,04	0,01
6	5	3	97	0,13	0,05	0,01
6	5	4	146	0,16	0,11	0,09
6	5	6	179	0,30	0,36	0,15
6	5	8	186	0,42	0,42	0,20
6	5	10	168	0,37	0,31	0,26
6	5	12	141	0,31	0,24	0,21
6	5	14	127	0,15	0,25	0,23
6	5	16	109	0,09	0,16	0,16
6	5	18	65	0,01	0,05	0,03
6	5	18,5	50	0,00	0,01	0,01
6	5	19	17	0,00	0,00	0,00

Tab. A22: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 6 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -2,2 m und 18,5 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	6	-2	3	0,00	0,00	0,00
6	6	-1,5	13	0,00	0,00	0,00
6	6	-1	14	0,00	0,00	0,00
6	6	-0,5	24	0,03	0,04	0,03
6	6	0	39	0,03	0,10	0,01
6	6	1	55	0,28	0,16	0,15
6	6	2	97	0,27	0,20	0,21
6	6	4	144	0,36	0,34	0,32
6	6	6	168	0,35	0,39	0,21
6	6	8	162	0,33	0,24	0,17
6	6	10	140	0,29	0,31	0,20
6	6	12	115	0,27	0,22	0,14
6	6	14	85	0,29	0,22	0,14
6	6	15	80	0,15	0,17	0,11
6	6	16	74	0,15	0,11	0,09
6	6	17	43	0,05	0,01	0,01
6	6	17,5	25	0,03	0,03	0,04
6	6	18	15	0,00	0,02	0,00

Tab. A23: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 7 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei -0,63 m und 19,35 m.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	7	0	34	0,00	0,00	0,00
6	7	0,5	44	-0,02	-0,02	0,00
6	7	1	54	-0,02	0,00	0,00
6	7	1,5	59	0,01	0,01	0,00
6	7	2	56	0,05	0,07	0,03
6	7	4	92	0,25	0,11	0,06
6	7	6	129	0,31	0,29	0,19
6	7	8	151	0,39	0,35	0,13
6	7	10	166	0,38	0,33	0,11
6	7	12	161	0,90	0,30	0,21
6	7	14	143	0,29	0,32	0,14
6	7	16	108	0,11	0,19	0,10
6	7	17	90	0,05	0,10	0,06
6	7	17,5	79	0,01	0,06	0,00
6	7	18	73	0,02	0,07	0,00
6	7	18,5	46	0,03	0,08	0,00
6	7	19	4	0,00	0,00	0,00

Tab. A24: Messungen Strömungsgeschwindigkeit und Wassertiefe Profil 8 bei Abfluss von 6 m³/s. Lage der Uferlinien (von Markierung Ufer links) bei 3,1 m und 32,2 m. Grau unterlegter Bereich gibt Strömungsrichtung aus dem Turbinenauslauf an.

eingestellter Durchfluss [m ³ /s]	Profil Nr.	Abstand von Markierung (Ufer links) [m]	Wassertiefe [cm]	Strömung oberflächennah [m/s]	Strömung Mitte [m/s]	Strömung grundnah [m/s]
6	8	3,5	4	0,00	0,00	0,00
6	8	4	30	0,01	0,00	0,02
6	8	5	50	0,48	0,29	0,34
6	8	6	103	0,48	0,29	0,34
6	8	8	144	0,61	0,50	0,33
6	8	10	157	0,60	0,44	0,52
6	8	12	166	0,63	0,68	0,53
6	8	14	189	0,68	0,68	0,45
6	8	16	198	0,67	0,61	0,67
6	8	18	190	0,71	0,67	0,67
6	8	20	172	0,69	0,67	0,64
6	8	22	155	0,65	0,67	0,59
6	8	24	161	0,63	0,68	0,56
6	8	26	163	0,60	0,59	0,33
6	8	28	131	0,60	0,53	0,30
6	8	29	108	0,60	0,47	0,52
6	8	30	86	0,62	0,61	0,46
6	8	30,5	84	0,48	0,52	0,47
6	8	31	62	0,42	0,55	0,51
6	8	31,5	38	0,00	0,00	0,00
6	8	32	8	0,00	0,00	0,00

10.2 Befischungsergebnisse

Tab. A25 Teil 1: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 in der 400 m Strecke unterh. WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Schmerle	Barbe	Bitterling	Döbel	Flussbarsch	Gründling	Schleie	Aal
1								
2								
3								
4	4			20				
5	3			1				
6	7							
7	3					20		
8	1			8		43		
9						25		
10		3		29	1	35		
11		2				4		
12		1		17		12		
13		2		2		2		
14				1				
15		2			1			
16		1						
17								
18								
19								
20		1		2				
21								
22		1		2				
23								
24		1						
25		1		1				
26								
27								
28								
29								
30				1				
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40		1						
> 40 - 45					1		1	
> 45 - 50								
> 50 - 60				12				
> 60 - 70								
> 70 - 80								
> 80								2
Summe	18	16	0	96	3	141	1	2

Tab. A25 Teil 2: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 in der 400 m Strecke unterh. WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Nase	Rapfen	Rotauge	Schwarzmundgrundel	Ukelei	Wels
1						
2						
3						
4			3			
5						
6			3	1	7	
7			27	6	9	
8			44	6	9	
9			28	33		
10			40	1		
11			17	1	6	
12			14	1		
13					10	
14	2			1	2	
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22	1					
23						
24						
25	1					
26						
27						
28						
29						
30						
31						
32	1					
33						
34						
35						
36						
37						
38						
39						
40						
> 40 - 45						
> 45 - 50						
> 50 - 60						
> 60 - 70						
> 70 - 80						
> 80						1
Summe	5	0	176	50	43	1

Tab. A26: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 in der 65 m Strecke unterh. Turbinenauslauf der WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Bitterling	Barbe	Döbel	Gründling	Nase	Rotauge	Schwarzmundgründel	Ukelei
1								
2				2				
3								
4				1			1	
5			1					
6							2	2
7				6				
8				20		5		11
9				1			1	
10			1	21		1		11
11								1
12			3	7			2	6
13					1			
14								1
15								
16								
17					1			
18			1					
19								
20		1						
21								
22								
23								
24								
25					1			
Anzahl gesamt	0	1	6	58	3	6	6	32

Tab. A26: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 in der Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 70 m unterh. Ausleitungswehr bis Zwischenwehr.

Totallänge (cm)	Bachforelle	Bachschmerle	Barbe	Gründling	Schwarzmundgrundel	Aal
1						
2						
3						
4						
5						
6			3	2		
7						
8		1		1	1	
9		1				
10		1	5	1	1	
11			1			
12			3	1		
13			10			
14	1		1			
15			10			
16	1		9			
17	1		1			
18			1			
19						
20	2					
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						
30			1			
31						
32						
33						
34						
35						1
36						
37						
38						
39						
40						
> 40 - 45						
> 45 - 50						
> 50 - 60						
> 60 - 70						
> 70 - 80						
> 80						
Summe	5	3	45	5	2	1

Tab. A27 Teil 1: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 240 m unterh. Zwischenwehr bis Einmündung in den Turbinenauslaufkanal.

Totallänge (cm)	Bachforelle	Bachschmerle	Barbe	Bitterling	Döbel	Elritze	Flussbarsch	Groppe
1								
2								
3								
4				1	23			
5								
6		2				1		
7				1	1			1
8		2		1	13			1
9					1			
10								
11					2			
12					10		1	
13					2			
14					3			
15			1		3			
16					8			
17					1			
18								
19					1			
20			1					
21								
22			1					
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34	1							
35	1							
36								
37	1							
38								
39								
40								
> 40 - 45								
> 45 - 50								
> 50 - 60					5			
> 60 - 70					1			
> 70 - 80								
> 80								
Summe	3	4	3	3	74	1	1	2

Tab. A27 Teil 2: Befischungsergebnis vom 08.05.2020 Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 240 m unterh. Zwischenwehr bis Einmündung in den Turbinenauslaufkanal.

Totallänge (cm)	Gründling	Güster	Kaulbarsch	Nase	Rotauge	Schleie	Schwarzmundgrundel	Ukelei	Aal
1									
2									
3									
4	2				7		1	3	
5	11				4		6	37	
6	8			2	6		4	7	
7	2				5		4	6	
8	37				54		9	8	
9	6				2		2		
10	56		1		14		4	39	
11	3							1	
12	26				4		3	1	
13	1			1				6	
14	1	1		2				1	
15				1					
16									
17				1	1				
18									
19									
20									
21				1					
22									1
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
> 40 - 45									
> 45 - 50									
> 50 - 60									
> 60 - 70									
> 70 - 80									
> 80									1
Summe	153	1	1	8	97	0	33	109	2

Tab. A28 Teil 1: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 in der 400 m Strecke unterh. WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Bachschmerle	Barbe	Bitterling	Döbel	Groppe	Gründling	Hasel	Hecht
1								
2			21					
3			14					
4			34	2		15		
5	1	4	55	4		5		
6			62	10		6		
7		3	26			14	3	
8			2	7	1	93		
9			1	12		45	1	
10		9			2	87	1	
11						33		
12		11		3	1	30		
13						7	1	
14				1		6		
15		1		1				
16				13				
17		1		12				
18		3		13				
19		2		5				
20		3		9				
21				4				
22		5		7				
23		3						
24		1		4				
25		5						
26				1				
27				1				
28		4						
29								
30								1
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40				1				
> 40 - 45								
> 45 - 50				1				
> 50 - 60								
> 60 - 70								
> 70 - 80								
> 80								
Summe	1	55	215	111	4	341	6	1

Tab. A28 Teil 2: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 in der 400 m Strecke unterh. WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Nase	Rapfen	Rotauge	Schwarzmundgrundel	Ukelei	Weis
1						
2						
3				6		
4	10		83	11		
5	22		178	1	2	
6	7	1	12	5	5	
7			51	10	16	
8	1		41	40	21	
9			10	6	68	
10			48	19	43	
11			3	22	63	
12			19	11	23	
13	2			2		
14	1		5	2	3	
15			15		1	
16	1		4			
17			5			
18			3			
19			1			
20	1					
21						
22						1
23						
24	1					
25						
26						
27						
28						
29						
30						1
31						
32						
33						
34						
35	1					
36						
37						
38						1
39						
40						1
> 40 - 45						
> 45 - 50						
> 50 - 60						1
> 60 - 70						1
> 70 - 80						
> 80						2
Summe	47	1	478	135	245	8

Tab. A29: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 in der 65m Strecke unterh. Turbinenauslauf der WKA Kirschhofen.

Totallänge (cm)	Bitterling	Brasse	Döbel	Gründling	Nase	Rotaugen	Schwarzmundgrundel	Ukelei
1								
2								
3	2							
4	21					5	17	
5	3				13	1		
6	8			5			1	
7	9			9	1	3	12	
8			2	4		4	11	
9		1	2	20		1		3
10				22		16	11	3
11				7		1		
12			1	7		2		1
13			4	3				2
14			2			3		
15			2			1		
16			3			1		
17			9			4		
18			2			2		
19			1					
20			2					
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38			1					
39								
40								
> 40 - 45								
> 45 - 50								
> 50 - 60								
> 60 - 70								
> 70 - 80								
> 80								
Summe	43	1	31	77	14	44	52	9

Tab. A30 Teil 1: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 in der Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 70 m unterh. Ausleitungswehr bis Zwischenwehr.

Totallänge (cm)	Bachforelle	Bachschmerle	Barbe	Bitterling	Döbel	Elritze	Gründling	Hasel
1								
2				80				
3				6				
4				91				
5		29		72		1		32
6		11		27	5	3	20	122
7		10			2	1	21	93
8		1	5		14	2	37	24
9		2					32	41
10		2					48	9
11					1		27	27
12			38		5		29	9
13			20		4		7	4
14			10		4		10	2
15			9		3		3	17
16			7		3			8
17			3					12
18								15
19								23
20								9
21			1		4			6
22					4			2
23								
24								
25					3			
26					4			
27					3			
28								
29								
30								
31					1			
32	1							
33								
34								
35					1			
36	1							
37								
38								
39								
40	1							
> 40 - 45								
> 45 - 50								
> 50 - 60								
> 60 - 70								
> 70 - 80								
> 80								
Summe	3	55	93	276	61	7	234	455

Tab. A30 Teil 2: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 in der Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 70 m unterh. Ausleitungswehr bis Zwischenwehr.

Totallänge (cm)	Nase	Rotauge	Schwarzmundgrundel
1			
2			
3			
4		5	
5		10	
6		2	5
7	19		1
8	2		
9		1	
10			
11			1
12			
13		2	
14			
15		1	
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40			
> 40 - 45			
> 45 - 50			
> 50 - 60			
> 60 - 70			
> 70 - 80			
> 80			
Summe	21	21	7

Tab. A31 Teil 1: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 240 m unterh. Zwischenwehr bis Einmündung in den Turbinenauslaufkanal.

Totallänge (cm)	Bachforelle	Bachschmerle	Barbe	Bitterling	Döbel	Elritze	Flussbarsch	Groppe
1						5		
2				3				
3		10		79	10			
4		1		109				
5		8		30	32			
6		10		16	11			
7		39		8	11		1	
8		24	5		16			
9			5		1			
10		2						
11								1
12					5			2
13			1		11			
14					11			
15			1		17			
16					8			
17					5			
18			1		22			
19					8			
20					1			
21					1			
22					3			
23								
24					3			
25					2			
26								
27								
28			1		2			
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
> 40 - 45								
> 45 - 50								
> 50 - 60								
> 60 - 70								
> 70 - 80								
> 80								
Summe	0	94	14	245	180	5	1	3

Tab. A31 Teil 2: Befischungsergebnis vom 27.08.2020 Ausleitungsstrecke WKA Kirschhofen mit Länge von 240 m unterh. Zwischenwehr bis Einmündung in den Turbinenauslaufkanal.

Totallänge (cm)	Gründling	Hasel	Kaulbarsch	Nase	Rotauge	Schleie	Schwarzmundgrundel	Ukelei	Wels
1					2				
2									
3							12		
4				11	131		14	40	
5	3			41	41		33	10	
6	30			31	8		34	22	
7	37			6	19		37	23	
8	46			15	55		58	21	
9	7				29		48	1	
10	91				89		25		
11	3				22		10		
12	16		1	44	39		11		
13	5			20	5		2	1	
14	6			10	20		1		
15	5			9	11			1	
16				7	4				
17				3	4				
18					1				
19					1				
20					1				
21				1					
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									
> 40 - 45									
> 45 - 50						1			
> 50 - 60									
> 60 - 70									1
> 70 - 80									
> 80									2
Summe	249	0	1	198	482	1	285	119	3