

Neubau einer Fischaufstiegsanlage mit Forschungsanteil an der Staustufe Wallstadt



Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg

Planfeststellungsverfahren

Neubau einer Fischaufstiegsanlage mit Forschungsanteil an der Staustufe Wallstadt

Main-km 101,37

FuE Untersuchungen von BfG/BAW

Beilage 33

Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
15.12.2025

gez. Bodsch
(Amtsleitung)

Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
Hockstraße 10
63743 Aschaffenburg
Telefon 06021 312- 0
Telefax 06021 312- 3101

FuE Untersuchungen von BfG/BAW im Rahmen der Aufgabe „Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit“ am Pilotstandort Wallstadt (Main)

verwendete Abkürzungen:

3D-HN-Modell – Dreidimensionales hydro-numerisches Modell
BAW - Bundesanstalt für Wasserbau
BfG - Bundesanstalt für Gewässerkunde
BMVBS - Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (heute BMVI)
BMVI - Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BWaStr – Bundeswasserstraße
FAA - Fischaufstiegsanlage
FuE - Forschung und Entwicklung
WKA - Wasserkraftanlage
WRRL – Wasserrahmenrichtlinie
WSV – Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung

Dieses Dokument ist zwischen der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) abgestimmt.

1 Notwendigkeit von FuE Untersuchungen an Pilotanlagen; Abwägungsgründe für den Standort Wallstadt (Main)

Im Zuge der Planungen von Fischaufstiegsanlagen hat sich gezeigt, dass trotz eines beschriebenen Stands der Technik offene Fragen im Themenfeld der ökologischen Durchgängigkeit insbesondere für die Verhältnisse an den Bundeswasserstraßen existieren. Im Rahmen eines Forschungsprogramms der BfG und BAW (BfG und BAW 2017) wurden daher konkrete Forschungs- und Entwicklungsprojekte formuliert, um diese Fragen zu beantworten.

Die Bearbeitung erfolgt auf Grundlage theoretischer Überlegungen und numerischer und physikalischer Modelle und muss durch Naturmessungen und Fischbeobachtungen an Pilotstandorten verifiziert und ergänzt werden. Da die gewonnenen Erkenntnisse auf eine möglichst große Anzahl weiterer Anlagen übertragbar sein sollen, sind aufgrund der vielfältigen Randbedingungen an den Stauanlagen der Bundeswasserstraßen mehrere Untersuchungsstandorte erforderlich. Ein Teil der Fragestellungen wird parallel an mehreren Pilotanlagen untersucht. Dies ist vor allem für die Untersuchungen zur Auffindbarkeit wichtig, da sich die Situation des Unterwassers je nach Standort sehr unterschiedlich darstellen kann. Die vorgesehenen Pilotstandorte wurden im Rahmen des Priorisierungskonzeptes des BMVBS (BMVBS 2012) zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit anhand fachlicher, planerischer und organisatorischer Kriterien ausgewählt.

Die wesentlichsten Auswahlkriterien umfassten:

- möglichst zeitnaher Bau und Fertigstellung der Anlage, damit gewonnene Erkenntnisse in Planung und Bau weiterer Anlagen einfließen können
- nicht zu große Entfernung des Standortes zu Koblenz/Karlsruhe, um eine intensive Betreuung durch BfG/BAW zu ermöglichen

- Vergleichbarkeit des Standortes zu weiteren geplanten Anlagen hinsichtlich der Fischfauna
- Vergleichbarkeit des Standortes zu weiteren geplanten Anlagen hinsichtlich der baulichen/örtlichen Gegebenheiten (z.B. FAA-Typ, Abflussaufteilungen, Flussbreiten, Situation Unterwasser etc.)
- Kooperationsbereitschaft der Planungs- und Bauträger sowie der Betreiber der Wasserkraftanlagen
- Eignung des Standortes zur Untersuchung mehrerer im Kontext des FuE-Programms relevanter Fragestellungen

Ausgewählt wurde u. a. die Stauanlage Wallstadt am Main. Die Stauanlage Wallstadt ist das neunte Wanderhindernis für Fische, die aus dem Rhein in den Main aufsteigen. Der Standort Wallstadt ist vom Aufbau der Stauanlage mit Wehr, Kraftwerk und Schleuse mit weiteren Standorten vergleichbar, so dass eine Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse gegeben ist.

Der Untersuchung des Leitdurchflusses kommt eine große Bedeutung zu. Dafür ist es wichtig, im Vorfeld Einvernehmen mit dem WKA-Betreiber herzustellen.

2 Problemstellungen und Untersuchungsaspekte

Die geplanten Untersuchungen betrachten generell die Auswirkungen bestimmter Bau- und Betriebsweisen von FAA auf den Aufstieg der Fische (Anzahl und Artenzusammensetzung von Aufsteigern, Dauer und Zeitpunkt der Wanderungen).

Fragen, die den Einfluss der Durchgängigkeit auf die Zielerreichung der WRRL behandeln, erfordern eine übergreifende Analyse der Fischbestände in den jeweils betroffenen Wasserkörpern. Diese Aspekte können nur in enger Kooperation mit bzw. durch die Bundesländer beantwortet werden. Sie stehen nicht im Fokus der hier vorgestellten Untersuchungen.

Folgende Aspekte sollen an der Pilotanlage Wallstadt untersucht werden:

- Nutzen zusätzlicher Einstiege
- Größe der erforderlichen Leitströmung
- Nutzen einer Sammelgalerie
- Nutzen der alten FAA
- Passierbarkeit in Abhängigkeit von Geometrie und Hydraulik in den Aufstiegsgerinnen

Die Notwendigkeit der Untersuchungen wird im Folgenden kurz erläutert.

Nutzen zusätzlicher Einstiege

Die Anordnung mehrerer Einstiege bzw. FAA an einem Standort wird in Regelwerken zum Bau von Fischaufstiegsanlagen bei breiten Flüssen mit komplexen Strömungsverhältnissen empfohlen, bei denen es unterschiedliche Wege und Strömungspfade gibt, entlang derer sich die aufwandernden Fische orientieren (BATES 2000, BMLFUW 2012, CLAY 1995, DUMONT *et al.* 2005, DWA

2006, 2014, FAO 2001, ORVIS 2016, PAVLOV 1989, SEIFERT 2016). Die Standorte, an denen die WSV FAA errichten oder ertüchtigen wird, zählen zu einem großen Teil zu dieser Kategorie. Wie hoch allerdings der Nutzen zusätzlicher Einstiege tatsächlich ist, konnte bislang, besonders an großen Flüssen mit Wasserkraft, nicht quantifiziert werden. Aus diesem Grund ist die Frage nach Nutzen und Notwendigkeit von mehreren FAA an einer Stauanlage bzw. weiteren Einstiegen ein zentraler Bestandteil des Rahmenkonzeptes von BfG/BAW für Forschung und Entwicklung zur "Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für Fische an den Staustufen der Bundeswasserstraßen" (BfG und BAW 2017). Sie wird an mehreren Pilotstandorten intensiv untersucht, so auch am Standort Wallstadt. Ähnlich wie an der Pilotanlage Eddersheim (Main) wird hier der kraftwerksnahe, uferseitige Einstieg mit einem wehrseitigen und einem uferseitig abwärts abgerückten Einstieg verglichen. Der Anteil der zusätzlichen Einstiege an der Gesamtwirkung der Fischaufstiegsanlage wird Gegenstand der fischbiologischen Untersuchungen nach Realisierung der Anlage sein. Der wehrseitige Einstieg wird zudem auch für die Untersuchung der Größe der Leitströmung benötigt ("Baseline-Messung", s. u.).

Größe der Leitströmung

Ziel der Leitströmung ist es, im Unterwasser der FAA einen unterbrechungsfreien Wanderkorridor zu schaffen, der dem Fisch signalisiert, wo eine Aufstiegsmöglichkeit vorhanden ist. Wesentlich für die gute Wahrnehmbarkeit einer Leitströmung ist neben der Einstiegsanordnung das Zusammenspiel von Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit im Austrittsquerschnitt des Einstiegs der FAA (Strömungsimpuls). Da die maximale Strömungsgeschwindigkeit über die Leistungsfähigkeit schwimmschwächerer Fischarten, der minimale Querschnitt der Einstiegsöffnungen der FAA hingegen über die Größe der zu berücksichtigenden Fische begrenzt wird, spielt der Leitdurchfluss zur Optimierung der Leitströmung eine wesentliche Rolle.

Der Leitdurchfluss setzt sich zusammen aus dem Betriebsdurchfluss der FAA sowie der Dotation, die im unteren Bereich der FAA hinzugegeben wird. Nach dem aktuellen Stand der Technik und dem derzeitigen Wissensstand lässt sich eine Empfehlung zur Größe der Dotation ableiten (z. B. BAW/BfG 2019). Allerdings besteht in der Praxis noch intensiver Forschungsbedarf zur Auswirkung dieser Dotation bzw. der erzeugten Leitströmung auf die Auffindbarkeit. Daher wurden die Leitströmung und die Untersuchungsszenarien für den Pilotstandort Wallstadt an der BAW in einem 3D-HN Modell des Unterwassers der Stauanlage unter biologischen Gesichtspunkten optimiert.

Nutzen einer Sammelgalerie

Zusätzlich wird an den Pilotanlagen Dörverden (Weser), Eddersheim und Wallstadt (beide Main) eine sogenannte Sammelgalerie verwirklicht und untersucht. Diese besteht aus Einstiegen über der Saugschlauchdecke, über die Fische direkt in den Verbindungskanal einschwimmen können, der den wehrseitigen Einstieg mit der FAA verbindet. Es wird angenommen, dass hier besonders schwimmstarke Fische einsteigen, die dem Turbinendurchfluss bis zum Saugschlauch folgen.

Passierbarkeit der Aufstiegsgerinne in Abhängigkeit von Geometrie, Hydraulik und weiteren Faktoren

Ein Aufstiegsgerinne sollte von den Fischen ohne Abbruch und mit möglichst wenig Zeitverzug durchschwommen werden (effektive und effiziente Passierbarkeit). In BWaStr. werden aufgrund der örtlichen Randbedingungen häufig FAA in Schlitzbauweise errichtet. Der aktuelle Stand der Technik ermöglicht jedoch deutliche Variationen in der geometrischen und hydraulischen Bemessung, deren Auswirkungen auf die Passierbarkeit weitgehend ungeklärt sind. Der Fokus liegt bei den Untersuchungen zur Passierbarkeit auf Abschnitten oder Becken der FAA, auf die die technischen Empfehlungen und Grenzwerte (DWA 2014) nicht direkt übertragen werden können, bzw. für die es noch keinen konkreten Bemessungsstandard gibt. In Wallstadt sind dies Verteilerbecken (= Becken, in dem das zufließende Wasser auf die verschiedenen Einstiege verteilt wird), kanalartige Abschnitte und Becken, in denen die Dotation zugegeben wird. Die Passierbarkeit dieser Becken soll im Rahmen der FuE- Untersuchungen analysiert werden.

3 Methodisches Vorgehen

Die Gesamtdauer der FuE Untersuchungen in Wallstadt und die während der Untersuchungen benötigten Durchflüsse werden durch die Untersuchungen zur Dotation, zu den zusätzlichen Einstiegen und zur Sammelgalerie bestimmt. Die übrigen Untersuchungen können parallel im gleichen Zeitraum durchgeführt werden und haben keine Auswirkungen auf die Gesamtdauer oder die benötigten Durchflüsse.

3.1 Untersuchungsdesign zum Nutzen weiterer Einstiege und zur Leitströmung

Die Untersuchungen zur Leitströmung und zu den zusätzlichen Einstiegen (Ausnahme Sammelgalerie) werden nach dem gleichen Design durchgeführt. Dies wird im Folgenden kurz vorgestellt, um das Prinzip zu verdeutlichen und die Begrifflichkeiten zu definieren. Weitere Details zum Untersuchungsdesign sind der Anlage 2 zu entnehmen.

- Im Versuchsablauf werden grundsätzlich verschiedene Betriebszustände miteinander verglichen. Diese Betriebszustände können unterschiedliche Leitdurchflüsse sein (Untersuchungen zur Leitströmung) oder unterschiedliche Einstiegskombinationen (Einstiegsuntersuchungen). Im direkten Vergleich können immer nur zwei Betriebszustände verglichen werden. Diese werden immer als Szenario 1 (SZ1) und Szenario 2 (SZ2) bezeichnet.
- Grundsätzlich werden die Auswirkungen der Szenarien auf die Anzahl der einsteigenden Fische analysiert. Die Fischzahlen werden durch Fischzähleinrichtungen oberhalb der Einstiege erfasst (*siehe Anhang 1, Erfassung der Fische*).
- Die Versuchsgestaltung entspricht einem abhängigen Stichprobendesign. Zwei Tage bilden einen Untersuchungsblock, wobei nach 24 h das Szenario gewechselt wird. Die Reihenfolge der Szenarien wird zufällig ausgewählt.
- Insgesamt müssen 150 dieser Untersuchungsblöcke mit gültigen Daten vorliegen, um eine statistisch gesicherte Aussage zum Unterschied zwischen SZ1 und SZ2 vornehmen zu können. Die Untersuchungen zur Leitströmung (ufernaher Einstieg) und zu den weiteren Einstiegen erfordern jeweils ca. 2 Untersuchungsjahre. Allerdings ist bei dieser Zeitprognose mit gewissen Unsicherheiten zu rechnen, die vorab nicht ausgeräumt werden können (*siehe Anhang 2, notwendige Stichprobenanzahl*).

- Falls ein weiterer Betriebszustand untersucht werden soll, wird dieser mit einem der bereits untersuchten Betriebszustände erneut in 150 Untersuchungsblöcken verglichen. Als SZ1 wird dann der bereits untersuchte Betriebszustand bezeichnet, SZ2 ist der neu zu vergleichende Betriebszustand.
- Innerhalb der 2-Tages-Stichprobenblöcke müssen die Randbedingungen, die sich auf die Anzahl aufstiegswilliger Fische auswirken, weitgehend konstant sein. Zudem müssen ausreichend Fische nachgewiesen werden. Aus den durchgeführten Stichprobenblöcken müssen für die Auswertungen jene identifiziert werden, die diese Bedingungen erfüllen. Hierdurch verringert sich die Anzahl auswertbarer Stichprobenblöcke (*siehe Anhang 2, Versuchsdesign*).
- Zu den Randbedingungen (Umweltfaktoren), die sich auf die aufstiegswilligen Fische auswirken und nicht beeinflussbar sind, zählen neben der Saisonalität und Tagesrhythmik (die bereits durch das Untersuchungsdesign berücksichtigt werden) vor allem Wassertemperatur, Trübung und Abfluss. Diese Faktoren müssen kontinuierlich während des gesamten Untersuchungszeitraums erfasst werden, um sie als Variablen in den jeweiligen statistischen Analysen berücksichtigen zu können. BfG/BAW prüfen, in wie weit auf bestehende Messnetze zurückgegriffen werden kann. Gegebenenfalls werden eigene Mess-Sonden mit Datenloggern eingesetzt.
- Die Turbinensteuerung beeinflusst ebenfalls das Aufstiegsverhalten. Eine Dokumentation der wechselnden Betriebszustände während des Untersuchungszeitraumes ist daher notwendig. Die Turbinensteuerung in Abstimmung mit dem Wasserkraftbetreiber zur Erzielung aussagekräftiger Ergebnisse wird angestrebt. Diese Anpassung wird nur im Rahmen der üblichen Betriebsweise stattfinden und nicht zu einem unrealistischen Betrieb der WKA führen.

3.1.1 Untersuchungen zum Nutzen zusätzlicher Einstiege

- Am Pilotstandort Wallstadt soll der Effekt eines abgerückten Einstiegs am Ufer (E2) und einem wehrseitigen Einstieg (E3) in unabhängigen, zeitlich getrennten Untersuchungen (U) festgestellt werden. Dabei wird ermittelt, wie sich das Hinzuschalten jeweils eines Einstiegs zu E1 auf den Fischaufstieg auswirkt (U1: E1 allein vs. E1 + E2; U2: optional E1 allein vs. E2 allein; U3: E1 allein vs. E1 + E3). Über die Durchführung der optionalen Untersuchung U2 kann erst nach Durchführung von U1 und U3 entschieden werden (Auswertung und Bewertung der Ergebnisse an E1 und E2).
- Bei den Stichprobenblöcken wird jeweils gewechselt zwischen einem Tag, an dem nur E1 betrieben wird (SZ1) und dem Folgetag, an dem entweder E1 mit dem jeweils anderen Einstieg E2 bzw. E3 gemeinsam oder nur E2 betrieben wird (SZ2).
- Die Einstiegsweiten aller Einstiege entsprechen bei diesen Untersuchungen der Mindestweite von 0,45 m und die Fließgeschwindigkeit ergibt sich bei E1 und E3 aus der Bemessungsgeschwindigkeit des Schlitzpasses (*siehe Anhang 3, Beschreibung der Szenarien*). Da E2 speziell für schwimmschwächere Fischarten optimiert werden soll, wird hier eine Bemessungsgeschwindigkeit von 1,0 m/s angesetzt, die mit steigendem Wasserstand bis auf 0,8 m/s abfallen darf (*siehe Anhang 3, Beschreibung der Szenarien*). Die Tiefe von E1, E2 und E3 bezogen auf den Unterwasserstand beträgt bei UW_{30} jeweils 1,2 m.

3.1.2 Untersuchungen zur Größe der Leitströmung

- An Einstieg 1 (E1, kraftwerksnaher Ufereinstieg) werden mit SZ1 und SZ2 zunächst zwei Leitströmungen mit unterschiedlichen Leitdurchflüssen verglichen, welche sich hinsichtlich ihrer Ausbreitung ins Unterwasser unterscheiden (*siehe Anhang 3, Beschreibung der Szenarien*). Wenn nach den zwei Jahren dieser Untersuchung der größere Leitdurchfluss das bessere Ergebnis erzielt, wird im Vergleich zu diesem noch eine dritte Leitströmung untersucht, deren Durchfluss zwischen den ersten beiden liegt. Bei der Berechnung des Gesamtwasserbedarfs (*siehe Anhang 4*) wird auch diese dritte, optionale Untersuchung mitberücksichtigt. Insofern handelt es sich um eine konservative Schätzung.
- Die Gesamtuntersuchung zur Leitströmung beträgt mindestens 2 Jahre (Szenario 1: kleiner Leitdurchfluss ausreichend) und maximal drei Jahre (Szenario 2: optionaler Leitdurchfluss wird untersucht). Auch hier wird auf die Unsicherheiten hingewiesen, die mit dieser Zeitprognose zusammenhängen (*siehe Anhang 2, notwendige Stichprobenanzahl*).
- Parallel zum Versuchsablauf an E1 wird Einstieg 3 (E3, wehrseitig) in beiden Szenarien permanent mit betrieben, ohne Wechsel des Leitdurchflusses. Die Einstiegsweite entspricht dabei der Mindestweite von 0,45 m und die Fließgeschwindigkeit ergibt sich aus der Bemessungsgeschwindigkeit des Schlitzpasses (s. Anhang 4). Die dort einsteigenden Fische sind von den wechselnden Leitdurchflüssen an E1 unbeeinflusst. Die Fischerfassung an E3 dient damit als Baseline-Messung (*Erläuterung der Baseline-Messung siehe Anhang 2, Versuchsdesign*). Die Tiefe von E1 und E3 bezogen auf den Unterwasserstand beträgt bei UW₃₀ jeweils 1,2 m.

3.2 Untersuchungen zum Nutzen einer Sammelgalerie

- Bei den Untersuchungen zur Sammelgalerie (Einstieg 4; E4) soll das Verhalten der Fische im Verbindungskanal im Bereich des E4 untersucht werden. Die Anzahl und Längen der einsteigenden Fische und der Einfluss der Sammelgalerie auf Fische, die von E3 durch den Kanal aufwärts schwimmen, werden erfasst.
- Mittels Sonarkamera werden die Fische im Einstiegskanal und in den umliegenden Kanalabschnitten erfasst und ausgewertet. Die statistische Auswertung erfolgt explorativ und mittels Hypothesentests (Chi², T-Test).
- Die Gesamtdauer der Untersuchungen umfasst zwei Jahre:
 - a) Vor Betrieb der Sammelgalerie wird als Vergleichsdatensatz das Fischverhalten in dem Kanalabschnitt ohne Einfluss von E4 über maximal ein Jahr aufgenommen. Dies wird parallel während der Untersuchung von E2 durchgeführt.
 - b) Während des Betriebes von E4 wird das Fischverhalten ebenfalls über maximal ein Jahr aufgenommen. Da bei den Einstiegs- und Leitströmungsuntersuchungen, die den Betrieb von E1 und E3 erfordern, E4 geschlossen bleiben muss, wird ein weiteres Untersuchungsjahr speziell für die Untersuchung der Sammelgalerie benötigt.
- Der Einstieg der Sammelgalerie muss die geometrische Mindestbreite aufweisen und wird jeweils ca. mit der Hälfte des FAA-Betriebsdurchflusses betrieben. Die genauen Durchflusswerte müssen noch im Verlauf der weiteren Planung festgelegt werden. Zusätzlich zur Sammelgalerie werden Einstieg 1 und 3 jeweils mit kleinem Durchfluss betrieben (Mindestweite von 0,45 m, Fließgeschwindigkeit ergibt sich aus der Bemessungsgeschwindigkeit des Schlitzpasses).

3.3 Untersuchungen weiterer Fragestellungen (Passierbarkeit der neuen FAA, Nutzen und Funktionalität der alten FAA)

Passierbarkeit der neuen FAA: Für die Bewertung der Passierbarkeit in den Sonderbecken werden Fische mit Transpondern versehen und im Aufstiegsverlauf mit mehreren HDX/FDX Antennen in der FAA erfasst. Dies gibt Aufschluss über die Passagedauer und ggf. vorhandene Wanderungsabbrüche.

Funktionalität und Nutzen der alten FAA: Fragen zum Nutzen der alten FAA werden ebenfalls durch das HDX/FDX Monitoring (Fokus Passierbarkeit) erfasst. So kann festgestellt werden, wie viele besenderte Fische hier nach einem Einstieg suchen und aufwandern. Die alte FAA wird dafür mit geeigneten HDX/FDX Antennen versehen.

3.4 Gesamtdauer der FuE-Untersuchungen

Maßgeblich für die Dauer der FuE Untersuchungen ist die Anzahl benötigter Stichprobenblöcke (Tab. 1).

Am Standort Wallstadt sollen zunächst die Untersuchungen zum Leitdurchfluss durchgeführt werden. Der optionale Vergleich wird nur durchgeführt, wenn in der ersten Untersuchung der große Leitdurchfluss das bessere Ergebnis erzielen konnte. Es folgen die Untersuchungen zu E2 und E3 und anschließend zur Sammelgalerie.

Die Untersuchungen zum Nutzen und zur Passierbarkeit an der alten FAA mittels HDX/FDX laufen dazu parallel und haben keinen Einfluss auf die Gesamtdauer.

Tab. 1: Abfolge und Dauer der FuE Untersuchungen an der neuen FAA am Standort Wallstadt (Main)

Nutzen zusätzlicher Einstieg 2 (E1 vs. E1 + E2)	150 Stichprobenblöcke	ca. 2 Jahre
Optional: Nutzen Einstiege: E2 allein vs. E1 allein	150 Stichprobenblöcke	ca. 2 Jahre
Nutzen zusätzlicher Einstieg 3 (E1 vs. E1 + E3)	150 Stichprobenblöcke	ca. 2 Jahre
Sammelgalerie	Didsonaufnahmen 1 Jahr	1 Jahr
Größe der Leitströmung: Vergleich kleiner und großer Durchfluss an E1	150 Stichprobenblöcke	ca. 2 Jahre
optional Größe der Leitströmung: Vergleich großer und mittlerer Durchfluss an E1	150 Stichprobenblöcke	ca. 2 Jahre
Gesamt		max. ca. 11 Jahre

Die Einschätzung, wie viele auswertbare Stichprobenblöcke pro Jahr zu erwarten sind, leitet sich aus den Erfahrungen an der FAA Koblenz/Mosel in den Jahren 2012 bis 2014 ab. Die Übertragung auf den Standort Wallstadt ist dabei nur bedingt möglich (keine Mündungssituation, ggf. weniger Fischarten und Individuenzahlen).

3.5 Gesamtwasserbedarf

Der Wasserbedarf während der Untersuchungen lässt sich nicht exakt prognostizieren, da die benötigten Leitdurchflüsse der Szenarien vom jeweiligen Unterwasserstand abhängig sind. Auf Grundlage der Dauerlinie aus dem E-HU wurde jedoch eine Abschätzung vorgenommen. Anhand der Unterschreitungstage des Anteils, den die verschiedenen Szenarien je nach Untersuchungsschema am Durchfluss haben und des Anteils des Untersuchungsschemas an der Gesamtdauer der FuE Untersuchungen lässt sich der Wasserbedarf abschätzen. Im Mittel wird für die Gesamtdauer der Untersuchungen über den 11-jährigen Untersuchungszeitraum ein Durchfluss von $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ benötigt. Dabei muss berücksichtigt werden, dass bereits die einfachste FAA ohne Dotation einen Durchfluss von ca. $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ hätte. Wird nur der Durchfluss berechnet, der in Konkurrenz zum Kraftwerk (ohne Wehrüberfall bei $Q_{\text{Main}} < Q_{210} = 135 \text{ m}^3/\text{s}$) entnommen wird, ergibt sich ein Wert von $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Details der Berechnung können Anhang 4 entnommen werden

Karlsruhe und Koblenz, im März 2022

Im Auftrag



Dr. N. Scheifhacken

Dr. C. Schütz; Dr. M. Scholten (BfG)



Dr.-Ing. M. Henning

Dr. sc. techn. R. Weichert (BAW)

Anlagen 1-6:

Anhang 1: Erfassung von Fischen

Anhang 2: Untersuchungsdesign zusätzliche Einstiege und Leitströmung

Anhang 3: Untersuchungsszenarien und Betriebszustände

Anhang 4: Ermittlung der benötigten Durchflüsse

Anhang 5: FuE Betriebs- und Planungsvorgaben

Anhang 6: Literatur

Anhang 1: Erfassung von Fischen

Zur Erfassung der Fische werden unterschiedliche automatisierte Methoden angewandt, anhand derer verschiedene Aspekte der Fischwanderung analysiert werden können. Ein Teil der Erfassungsmethoden erfordert einen Tierversuchsantrag (Pit tag Transponder: HDX/FDX Monitoring), andere können als nichtinvasive Methoden ohne Tierversuchsantrag (Video, Didson, Aris) durchgeführt werden.

Automatische Fischzähleinrichtung (Video-Erfassung)

Automatische Videoerfassungssysteme erfassen und vermessen die Fische berührungslos in einem "Zähltunnel" mittels Infrarot- und Videotechnik. Hierüber lässt sich eine quantitative Abschätzung der durchwandernden Fischarten und Altersstruktur vornehmen. Die Positionierung der Zähleinrichtung hängt von der Fragestellung ab. Um einen Überblick über die Fische zu bekommen, die in die FAA einschwimmen, muss einstiegsnah überwacht werden (in allen Einstiegen). Für die Fische, die die FAA erfolgreich durchschwimmen erfolgt eine ausstiegssnahe Überwachung.

Passive integrierte Transponder Technik (PIT – Technik, HDX und FDX)

Für die Half Duplex (HDX) und Full Duplex (FDX) Messungen werden Fische individuell mit Transpondern (PIT-Tags) versehen und unterhalb der Anlage freigesetzt. In die verschiedenen Eingangsöffnungen zur FAA, innerhalb der FAA (sowohl alte als auch neue FAA) werden Rahmenantennen installiert, welche die Transponder der markierten Fische aktivieren, die daraufhin ein Signal abgeben, das von der Antenne automatisch erfasst wird. Anhand der erfassten Codes können die Signale den individuellen Fischen zugeordnet werden. Darüber erhält man Informationen dazu,

- welche Einstiege von welchen Fischen benutzt werden (Auffindbarkeit) und
- wie lange die Fische sich zwischen zwei Antennen aufhalten (Passagezeiten).

Die Erfassungen mittels PIT-Tags werden in verschiedenen Aufstiegsmonaten mit unterschiedlichen Fischarten durchgeführt. Für eine Markierung der Fische müssen diese vorher gefangen werden, z. B. mittels Reuse, Fangkammer, Elektro- oder Netzfischerei.

Fischerfassung mit Sonar (DIDSON oder ARIS Sonargerät)

Das DIDSON-Sonargerät (Dual Frequency IDentification SONar) arbeitet als "akustische" Kamera. Es erzeugt videoartige Aufnahmen und ermöglicht die direkte Beobachtung von Fischen beispielsweise beim Einstieg in die FAA (Schwimmrichtung, Schwimmgeschwindigkeit). Auch eine Quantifizierung der Fischgröße und Anzahl ist möglich. Aufnahmen können auch bei Dunkelheit oder starker Wassertrübung gemacht werden. Starke Luftblasenentwicklung erschwert allerdings die Aufnahmen und Differenzierung der Fischarten.

Tab. 1-1: Für die Beantwortung der Untersuchungsfragen vorgesehene Methoden; (X) bezeichnet optionale zusätzliche Auswertungen

	Videoerfassung	PIT-Tags, HDX/FDX	Sonar- kamera
Nutzen zusätzlicher Einstiege	X	X	(X)
Untersuchungen zur Größe der Leitströmung	X	X	(X)
Nutzen der alten FAA		(X)	
Passierbarkeit der neuen FAA		X	(X)
Sammelgalerie neue FAA			X

Anhang 2: Untersuchungsdesign Leitströmung und zusätzliche Einstiege

Arbeitshypothese und zu untersuchende Parameter

Es werden verschiedene Einstiegszenarien hinsichtlich ihrer Auffindbarkeit und Passierbarkeit untersucht. Die Funktionalität der Szenarien wird über die Anzahl, Größe und Arten der einsteigenden Fische ausgewertet. Die Anzahl der einsteigenden Fische ist die abhängige Variable, die jeweiligen Szenarien die erklärende Variable.

Fischerfassung

Die Fische werden in Fischzählern oberhalb der jeweiligen Einstiege erfasst. Dies bedeutet, dass nicht die eigentliche abhängige Variable erfasst wird, sondern die Anzahl der einsteigenden Fische abzüglich der Fische, die auf dem Weg zum Fischzähler wieder umkehren.

Um diesen Einfluss der Passierbarkeit abschätzen zu können, werden Daten aus HDX/FDX-Untersuchungen herangezogen. Entsprechende Antennen (an den Einstiegen, an den Fischzählern) sind vorzusehen.

Untersuchungsdesign

Zahlreiche natürliche und anthropogene Parameter beeinflussen an einem Standort die Anzahl aufwandernder Fische. Das gewählte Untersuchungsdesign muss geeignet sein, trotz dieser Einflussfaktoren die Auswirkungen (Effekte) unterschiedlicher Szenarien nachzuweisen. Im vorliegenden Fall wird ein geblockter Versuchsablauf gewählt (a), der mit univariaten Regressionsmethoden (b) und mit einer Baseline-Messung (c) kombiniert wird.

a) direkter Vergleich der Szenarien, geblocktes Untersuchungsdesign

Den aufstiegswilligen Fischen werden an aufeinanderfolgenden Tagen unterschiedliche Szenarien "angeboten". Sie reagieren auf die Szenarien mit unterschiedlichen Individuenzahlen einsteigender Fische.

Beim geblockten Versuchsablauf wird in einem zeitlich verbundenen Stichprobenblock aufeinanderfolgend ein zu untersuchendes Szenario eingestellt und die in die FAA einsteigenden Fischzahlen erfasst, dann erfolgt der Wechsel zum nächsten Szenario. Diese Vorgehensweise wird so lange wiederholt, bis die vorab definierte Anzahl notwendiger Stichproben erfasst wurde.

Voraussetzung für die Durchführung ist, dass sich im Verlauf eines Stichprobenblockes die "Versuchsgruppe", also die Anzahl aufstiegswilliger Fische nicht wesentlich ändert. Hierzu wird die Dauer eines Stichprobenblockes zeitlich eng begrenzt, so dass beim Szenarienwechsel überwiegend vergleichbare Randbedingungen angenommen werden können. Die Mindestzeit eines Szenarios beträgt 24 Stunden, um die Tagesdynamik von Fischwanderungen abbilden zu können.

Grundsätzlich könnten mehr als zwei Szenarien hintereinander untersucht werden. Je mehr Szenarien verglichen werden (je Szenario 24 Stunden), desto wahrscheinlicher ist es, dass sich die abiotischen Randbedingungen ändern (verbundene Stichproben). Es ist daher am günstigsten, zunächst nur zwei Szenarien zu untersuchen und anschließend das nächste Szenario mit einem der bereits untersuchten Szenarien zu vergleichen. Damit kommt man auf eine Dauer von 2 x 24 Stunden, also zwei Tagen für einen Stichprobenblock in dem zwei Szenarien miteinander verglichen werden.

b) univariate Regressionsverfahren

Die Anzahl der einsteigenden Fische ist die abhängige und das jeweils eingestellte Szenario die erklärende Variable.

Als weitere wirksame Faktoren auf die Anzahl der aufstiegswilligen Fische sind die Saisonalität, Tagesrhythmik sowie der Abfluss, Wasserstand, Wassertemperatur, Trübung und die Betriebszustände der Turbinen bei den statistischen Auswertungen (univariate Statistik) zu berücksichtigen.

Die Auswertungen werden statistisch belastbare Unterschiede zu den getesteten Szenarien sowie zur zeitlichen und räumlichen Dynamik des Fischeinstiegs an den Pilotanlagen darstellen.

Aufgrund einer möglicherweise komplexen Datenstruktur (Zählraten, Null-inflationär, saisonal, autokorreliert) kann derzeit noch nicht festgelegt werden, welche Regressionsverfahren zur Analyse geeignet sind.

c) Baseline Messung, Bereinigung der Blöcke

Die unter a) erläuterten Szenarien können nicht gleichzeitig betrieben werden, sondern müssen nacheinander eingestellt werden. Falls sich zwischen den beiden Tagen eines Stichprobenblockes die Randbedingungen deutlich ändern, hat das direkte Auswirkungen auf den Vergleich der beiden Szenarien.

Um hierzu auswertbare Daten zu bekommen, bedarf es einer Vergleichsgruppe, die "unbehandelt" bleibt, aber den gleichen Randbedingungen unterliegt. Im Fall der "Baseline" Messung wäre dies die Anzahl Fische, die über einen weiteren, von den Szenarien unbeeinflussten Einstieg in die FAA einsteigt. Damit erhält man Informationen zur Dynamik der Aufsteiger am Standort innerhalb der 2-tägigen Stichprobenblöcke. Falls die abiotischen Änderungen gravierend sind, müssen die entsprechenden Blöcke von der Auswertung ausgeschlossen werden, da Unterschiede der Fischzahlen an den untersuchten Einstiegen zwischen den beiden Tagen vermutlich nicht mit den sich ändernden Szenarien zusammenhängen, sondern von anderen Faktoren überlagert werden.

Dieser Ansatz setzt voraus, dass die aufsteigenden Fische, die am Baseline-Einstieg festgestellt werden, zwar nicht unbedingt die gleiche Menge, aber die gleiche Dynamik aufweisen wie die an den untersuchten Einstiegen festgestellten Fische (tägliche Schwankungen der Fischzahlen/-arten). Idealerweise liegt der Baseline-Einstieg daher dicht an den zu untersuchenden Einstiegen aber ohne diese hydraulisch zu beeinflussen. Ist das nicht möglich, kann als "Baseline" eine weitere, nahe gelegene FAA im gleichen Flussabschnitt berücksichtigt werden. Je weiter vom Untersuchungsort entfernt die Baseline liegt, desto geringer wird die Vergleichbarkeit der Daten. In Wallstadt kann man bei den Untersuchungen zur Dotation die Anzahl der Fische, die über den wehrnahen Einstieg E3 in die FAA einsteigen, als Baseline verwenden. Während an E1 die Szenarien täglich wechseln (siehe oben), wird E3 immer mit dem kleinen Durchfluss parallel mitbetrieben (s. Anhang 4). Für die Untersuchungen der zusätzlichen Einstiege ist dieses Vorgehen nicht möglich. Eine Alternative stellen hier ggf. parallele Fischerfassungen an anderen Mainstandorten dar (z. B. Obernau, Kostheim).

Zusätzlich können die Blöcke aufgrund abiotischer Schwankungen bereinigt werden. Vor allem Abfluss, Wasserstand und Trübung sowie Wassertemperatur werden sich auf die Anzahl der aufstiegswilligen Fische auswirken. Blöcke, innerhalb derer sich diese Faktoren gravierend ändern, müssen von der Analyse ausgeschlossen werden. Die jeweiligen Ausschlusskriterien müssen vor Beginn der Auswertungen aufgrund von Literatur- und Erfahrungswerten festgelegt werden.

Notwendige Stichprobenanzahl

Die Untersuchung anhand geblockter Stichproben ist maßgeblich für die Mindestanzahl der Stichproben und damit für die Untersuchungsdauer.

Um den benötigten Stichprobenumfang zu ermitteln, wurden anhand von Vaki Fischzähler-Daten von der FAA Koblenz an der Mosel vergleichbare Ergebnisse mit verschiedenen Effektstärken simuliert.

Anhand eines Wilcoxon Rangsummentests wurde ermittelt, ab welcher Höhe der jeweils simulierte Effekt vor dem Hintergrund der "natürlicherweise" bereits stark schwankenden Fischzahlen signifikant ($p < 0,05$) nachweisbar war. Die Ergebnisse schwankten von einem nachweisbaren Effekt von 20 % bis 60 %, je nachdem, welcher Zeitabschnitt der Datengrundlage für den Test berücksichtigt wurde. In insgesamt 1000 Permutationen wurden die Szenarien X und Y zufällig auf die beiden Tage des Stichprobenblockes verteilt. Aus diesen 1000 Werten je Effektgröße wurde das 97,5 Perzentil ermittelt, d.h. jener p -Wert, der in 97,5 % aller Permutationen nicht überschritten wurde. Wenn für dieses Perzentil $p < 0,05$ war, bedeutet das, dass in 975 der 1000 Permutationen der vorhandene Effekt mit ausreichender Signifikanz von $p < 0,05$ nachgewiesen werden konnte. Es zeigt sich, dass mit den Daten von 2012-2014 (insgesamt 268 Stichprobenblöcke) eine Effektgröße ab ca. 50 % mit einer Signifikanz von $p < 0,05$ nachgewiesen werden kann. Ist man bereit die Signifikanzschwelle auf $p > 0,1$ anzuheben, kann auch eine etwas geringere Effektgröße von ca. 40% erkannt werden.

Um herauszufinden, wie viele Stichprobenblöcke mindestens notwendig sind, um einen Effekt nachweisen zu können, wurde die gleiche Analyse erneut durchgeführt. Ausgehend von 30 Stichprobenblöcken wurden sukzessive die chronologisch darauffolgenden Blöcke hinzugenommen und die Analyse wiederholt.

Die Auswertung zeigt, dass es ab etwa 150 Stichprobenblöcken möglich ist, mit ausreichender Sicherheit ($p < 0,05$ in 975 von 1000 permutierten Fällen) eine Effektgröße von mind. 50 % nachzuweisen.

150 Stichprobenblöcke entsprechen ca. 300 Messtagen. Allerdings ergeben nicht alle gemessenen Stichprobenblöcke brauchbare Daten. In den Beispieldaten aus Koblenz mussten 38 Blöcke in 2012, 35 Blöcke in 2013 und 105 Blöcke in 2014 aufgrund von Tagen an denen keine Fische ermittelt wurden von der Analyse ausgeschlossen werden.

Eine Übertragung der Erfahrungen von der Mosel auf den Standort Wallstadt im Main ist nur begrenzt möglich (keine Mündungssituation, ggf. weniger Fischarten und Individuenzahlen). Zudem ist kaum prognostizierbar, ob in den Jahren in denen die FuE Untersuchungen stattfinden werden mit hohen oder niedrigen Aufstiegszahlen zu rechnen ist. Wir gehen am ufernahen Haupteinstieg (E1) zunächst davon aus, dass pro Jahr 75 brauchbare Stichprobenblöcke verwendet werden können. Für 150 Stichprobenblöcke wären damit 2 Untersuchungsjahre anzusetzen. Werden die zusätzlichen Einstiege untersucht (E2, E3) gehen wir davon aus, dass der Anteil an Tagen ohne Fischmessungen größer sein wird. Hier werden ebenfalls jeweils 2 Untersuchungsjahre angesetzt. Es ist geplant während der Untersuchungen die Datenanalysen möglichst fortlaufend durchzuführen, so dass bei einem günstigen Verlauf der Messungen ggf. früher zum nächsten Untersuchungsschema gewechselt werden kann. Ebenso wird frühzeitig klar werden, ob sich die Untersuchungsdauer aufgrund ungünstiger Bedingungen verlängern könnte. Wesentlich für die Belastbarkeit der Aussage ist nicht die untersuchte Dauer, sondern die Anzahl auswertbarer Stichproben.

Anhang 3: Untersuchungsszenarien und Betriebszustände

A) Nutzen zusätzlicher Einstiege

Auch die Untersuchungen zum Nutzen des Betriebs von E2 am Ufer folgen dem in Anhang 2 vorgestellten Blockdesign. Es wird ermittelt, wie sich das Hinzuschalten des zusätzlichen Einstiegs auf den Fischaufstieg auswirkt. Die Einstiegstiefe bezogen auf den Unterwasserstand beträgt bei UW_{30} 1,2 m.

In den Untersuchungen wird bis zum Erreichen von 150 Stichprobenblöcken somit täglich zwischen zwei Szenarien gewechselt:

Untersuchung zum Nutzen von E3 (E1 vs. E1 + E3):

Tag 1: Szenario 1 = nur E1 mit Q_{KLEIN}

Tag 2: Szenario 2 = E1 und E3 zeitgleich mit jeweils Q_{KLEIN} .

Untersuchung zum Nutzen von E2 (E1 vs. E1 + E2):

Tag 1: Szenario 1 = nur E1 mit Q_{KLEIN}

Tag 2: Szenario 2 = E1 mit Q_{KLEIN} und E2 mit Durchfluss Q_{E2} der sich aus der Bemessungsgeschwindigkeit von E2 zwischen 0,8 m/s und 1,0 m/s bei einer Schlitzweite von 0,45 m (s. Kapitel 3.1.2) berechnet (ca. $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$)

Optional: Untersuchung E1 alleine vs. E2 alleine

Tag 1: Szenario 1 = nur E1

Tag 2: Szenario 2 = nur E2

B) Größe der Leitströmung

Die Untersuchungen zur Leitströmung folgen dem in Anhang 2 vorgestellten Blockdesign. Es werden verschiedene Szenarien miteinander verglichen, die im Folgenden vorgestellt werden.

Ziel der Leitströmung ist es, im Unterwasser der FAA einen unterbrechungsfreien Wanderkorridor zu schaffen, der dem Fisch signalisiert, wo eine Aufstiegsmöglichkeit vorhanden ist. Die Leitströmung muss vor allem dort wirksam werden, wo Fische natürlicherweise nach Aufstiegsmöglichkeiten suchen, also dort, wo die Fische auf die durch Turbulenzballen gekennzeichnete Zone unterhalb der Turbinen treffen. Darauf basierend wurde die Bemessung für die Untersuchungen an den WSV-Pilotanlagen anhand numerischer Modelluntersuchungen durch BfG/BAW (2019) festgelegt. Darin soll in einem Szenario die Leitströmung bis an das Ende der turbulenten Zone reichen. Um die These zu testen, sollen in zwei weiteren Szenarien die Leitströmungslängen signifikant kürzer bzw. signifikant länger sein. Die Einstiegstiefe bezogen auf den Unterwasserstand beträgt bei UW_{30} 1,2 m.

Die Länge der turbulenten Zone L_{TZ} wurde anhand mehrerer Begehungen geschätzt und beträgt unterhalb der WKA Wallstadt ca. 11 m.

Die Länge der Leitströmung L_x ist definiert als diejenige Länge, in der die Kerngeschwindigkeit der Leitströmung einen Wert von 0,8 m/s nicht unterschreitet.

Da die Bemessungsgeschwindigkeit im Einstieg konstant ist, kann die Länge der Leitströmung nur durch die Breite des Einstiegs gesteuert werden. Für den Pilotstandort Wallstadt wird das Ende der turbulenten Zone ($L_x = L_{TZ}$) mit der Einstiegsbreite $B = 0,45$ m erreicht. Da mit der Mindestbreite $B = 0,45$ m die errechnete Leitströmungslänge bereits knapp 10 m beträgt, kann eine kleinere Variante wegen der erwarteten geringen Effekststärke nicht untersucht werden. Somit ist die Variante mit einer Einstiegsbreite $B = 0,45$ m die kleinste untersuchte Variante. Der benötigte Leitdurchfluss wird im Folgenden als Q_{KLEIN} bezeichnet.

Als signifikant größerer Leitdurchfluss (Q_{GROB}) wird eine Leitströmung bemessen, die mindestens 8 m über das Ende der turbulenten Zone hinausreicht. Die Modelluntersuchungen ergaben dies bei einer Einstiegsbreite von 1,35 m. Wegen methodischer und betrieblicher Unsicherheiten wurde die technisch mögliche Einstiegsbreite auf 1,6 m festgelegt. Die tatsächliche Breite wird beim Betrieb der FAA festgelegt. Um für den Wasserbedarf eine konservative Abschätzung vorzunehmen, wird die maximale Breite von 1,6 m angenommen.

Es wird zunächst die oben beschriebene kleine Leitströmung mit dem kleinen Leitdurchfluss Q_{KLEIN} als Szenario 1 (SZ1) mit der großen Leitströmung und großem Leitdurchfluss Q_{GROB} als Szenario 2 (SZ2) verglichen.

Sollten die Ergebnisse zeigen, dass die große Leitströmung besser ist als die kleine Leitströmung, soll eine dazwischen liegende mittlere Leitströmung mit einem Durchfluss Q_{MITTEL} getestet werden, der ebenfalls im Betrieb festgelegt wird und konservativ für eine Einstiegsbreite von 1,2 m ermittelt wird.

In der ersten Untersuchung wird bis zum Erreichen von 150 Stichprobenblöcken somit täglich zwischen zwei Szenarien gewechselt (wobei E3 als Baseline mit der fischökologisch begründeten Mindestbreite von 0,45 m bzw. Q_{BASE} mitläuft, siehe oben):

Tag 1: Szenario 1 = Q_{KLEIN} an E1 (und Q_{BASE} an E3 als Baseline)

Tag 2: Szenario 2 = Q_{GROB} an E1 (und Q_{BASE} an E3 als Baseline)

Optional wird in einer zweiten Untersuchung bis zum Erreichen von 150 Stichprobenblöcken zwischen folgenden Szenarien gewechselt:

Tag 1: Szenario 1 = Q_{GROB} an E1 (und Q_{BASE} an E3 als Baseline)

Tag 2: Szenario 2 = Q_{MITTEL} an E1 (und Q_{BASE} an E3 als Baseline)

Die Durchflüsse der Leitströmungsszenarien können im Anhang 4 den Tabellen 4-1 und 4-2 entnommen werden.

C) Zusammenfassung der Betriebszustände während der entsprechenden Untersuchungs-jahre

In der nachfolgenden Tabelle 3-1 sind die Betriebszustände der Untersuchungen mit den jeweiligen Durchflüssen zusammengefasst.

Tab. 3-1: Betriebszustände mit Durchflüssen

Fragestellung		Design		Betriebszustände
	Nutzen Einstieg 3	Blockdesign, täglich wechselnd	SZ1	E1 (Q_{KLEIN})
			SZ2	E1 (Q_{KLEIN}) + E3 (Q_{KLEIN})
	Nutzen Einstieg 2	Blockdesign, täglich wechselnd	SZ1	E1 (Q_{KLEIN})
			SZ2	E1 (Q_{KLEIN}) + E2 (Q_{E2})
optional	E 1 alleine vs. E2 alleine	Blockdesign, täglich wechselnd	SZ1	E1 (Q_{KLEIN})
			SZ2	E2 (Q_{E2})
optional	Größe Leitströmung	Blockdesign, täglich wechselnd	SZ1	E1 (Q_{KLEIN}) + E3 (Q_{KLEIN})
			SZ2	E1 ($Q_{\text{GROß}}$) + E3 (Q_{KLEIN})
		Blockdesign, täglich wechselnd	SZ1	E1 ($Q_{\text{GROß}}$) + E3 (Q_{KLEIN})
			SZ2	E1 (Q_{MITTEL}) + E3 (Q_{KLEIN})
	Sammelgalerie	Dauerbetrieb		E1 (Q_{KLEIN}) + E3 (Q_{KLEIN}) + E4

Anhang 4: Ermittlung der benötigten Durchflüsse

Zur Ermittlung der Durchflüsse muss für den Einstiegsquerschnitt eine mittlere Fließgeschwindigkeit zu Grunde gelegt werden. Der Grenzwert der maximalen Fließgeschwindigkeit v_{gr} ergibt sich für die Fließgewässerregion aus Tabelle 17 im DWA-Merkblatt M 509 (DWA 2014). Die Bemessungsgeschwindigkeit für den Einstieg ergibt sich unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwertes für die Fließgeschwindigkeiten $S_v = 0,95$ (DWA 2014, S. 226) aus $v_{bem} = S_v \cdot v_{gr}$. Für den Standort Wallstadt ist somit $v_b = 0,95 \cdot 1,7 \text{ m/s} = 1,6 \text{ m/s}$.

Untersuchungen der BAW haben einen überschlägigen Verlustbeiwert des Einstiegsorgans $C = 0,92$ ergeben, der zur Ermittlung der mittleren Geschwindigkeit v_m im Fließquerschnitt des Einstiegs verwendet wird. Es ist $v_m = C \cdot S_v \cdot v_{gr} = 1,5 \text{ m/s}$.

Die Gleichung ist so formuliert, dass der in DWA (2014) als für beckenartige FAA gültig aufgestellte Zusammenhang $v_{bem} = (2 \cdot g \cdot \Delta h)^{1/2}$ anwendbar ist.

Die benötigten Durchflüsse Q wurden aus der mittleren Fließgeschwindigkeit im Einstiegsquerschnitt, der Einstiegsweite s und der Wassertiefe im Einstiegsschlitz bezogen auf den Unterwasserstand h_u ermittelt. Somit ist $Q = v_m \cdot s \cdot h_u$. Bei UW_{30} ist $h_u = 1,2 \text{ m}$.

Wie in Anhang 3 ausgeführt, sind für E1 zwei Leitströmungsszenarien vorgesehen, die mit den Durchflüssen Q_{KLEIN} und Q_{GROB} realisiert werden sollen. Ein drittes Szenario mit Q_{MITTEL} kann später festgelegt werden und wurde hier konservativ geschätzt. Die später tatsächlich verwendeten Durchflüsse werden die im Folgenden zu Grunde gelegten Werte in keinem Fall überschreiten. Für den Betrieb von E3 ist ebenfalls Q_{KLEIN} erforderlich. Für den unregelmäßigen Betrieb von E4 der Sammelgalerie werden in Ermangelung der endgültigen Planung die Durchflüsse wasserstandsabhängig zwischen $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ und $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ konservativ abgeschätzt (Q_{E4}).

Die Durchflüsse der Leitströmungsversuche wurden im Spektrum der Unterwasserstände entsprechend der statistischen Funktionsperiode von 300 Tagen zwischen UW_{30} und UW_{330} aus der Dauerlinie aus dem E-HU ermittelt. Für E1 werden dabei je nach Größe der Leitströmung Durchflüsse zwischen $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{GROB} bei UW_{330}) und $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{KLEIN} bei UW_{30}) benötigt (Tabelle 5-1). Hinzu kommen für die Baseline-Messung an E3 Durchflüsse zwischen $1,4 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{KLEIN} bei UW_{330}) und $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q_{KLEIN} bei UW_{30}). Bei Wasserständen, die außerhalb der Funktionsperiode liegen, werden die genannten Durchflüsse nicht über- bzw. unterschritten.

Da die Mindest- und Maximaldurchflüsse relativ wenig Aussagekraft für den tatsächlichen Wasserverbrauch besitzen, wurden die Durchflüsse in Tabelle 5-1 mit ihrer Auftretenswahrscheinlichkeit gewichtet und zu ΣQ_{norm} aufsummiert. Um die Auswirkungen für die Produktion der Wasserkraftanlage abzuschätzen, dürfen zudem nur die Durchflüsse berücksichtigt werden, die im Betriebszeitraum der WKA für die Stromproduktion fehlen. Dafür kann angenommen werden, dass die benötigten Durchflüsse bei Wehrüberfall ab $Q_{Main} > 135 \text{ m}^3/\text{s}$ (das entspricht einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 210 Tagen) der WKA nicht fehlen. Für die relevanten 210 Tage ergeben sich die normierten effektiven Durchflüsse $\Sigma Q_{normeff}$ in Tabelle 5-1.

Tab. 4-1: Unterschreitungswahrscheinlichkeiten und Zuordnung der notwendigen Untersuchungsdurchflüsse

Jahresreihe 1981/2013			Untersuchungsdurchflüsse [m³/s]				gewichtete Durchflüsse [m³/s]				
Q _{Main} [m³/s]		W [mNN]	Q _{KLEIN}	Q _{MIT-TEL}	Q _{GROß}	Q _{BASE}	Q _{(norm)KLEIN}	Q _{(norm)MIT-TEL}	Q _{(norm)GROß}	Q _{(norm)BASE}	
365			1.9	3.8	5.1	1.5	0.183	0.367	0.489	0.138	
330	337	113.68	1.9	3.8	5.1	1.5	0.050	0.100	0.134	0.038	
320	299	113.49	1.7	3.5	4.7	1.4	0.091	0.182	0.242	0.068	
300	246	113.30	1.6	3.2	4.2	1.2	0.123	0.247	0.329	0.093	
270	194	113.14	1.4	2.9	3.8	1.1	0.112	0.225	0.300	0.084	
240	161	113.00	1.3	2.6	3.5	1.0	0.105	0.210	0.280	0.079	
210	136	112.94	1.2	2.5	3.3	0.9	0.010	0.021	0.027	0.008	
205	135	112.94	1.2	2.5	3.3	0.9	0.091	0.182	0.243	0.068	
183	120	112.90	1.2	2.4	3.2	0.9	0.098	0.197	0.263	0.074	
150	102	112.87	1.2	2.4	3.2	0.9	0.064	0.129	0.172	0.048	
130	93	112.85	1.2	2.3	3.1	0.9	0.032	0.064	0.085	0.024	
120	89	112.84	1.2	2.3	3.1	0.9	0.032	0.063	0.084	0.024	
110	85	112.83	1.1	2.3	3.1	0.9	0.031	0.063	0.084	0.024	
100	82	112.82	1.1	2.3	3.0	0.9	0.031	0.062	0.083	0.023	
90	78	112.81	1.1	2.3	3.0	0.9	0.031	0.062	0.083	0.023	
80	74	112.80	1.1	2.3	3.0	0.9	0.031	0.061	0.082	0.023	
70	71	112.79	1.1	2.2	3.0	0.9	0.030	0.061	0.081	0.023	
60	68	112.78	1.1	2.2	3.0	0.9	0.030	0.060	0.081	0.023	
50	64	112.77	1.1	2.2	2.9	0.9	0.030	0.060	0.080	0.023	
40	60	112.77	1.1	2.2	2.9	0.8	0.030	0.060	0.079	0.022	
30	56	112.75	1.1	2.2	2.9	0.8	0.015	0.030	0.039	0.011	
25		112.74	1.1	2.1	2.9	0.8	0.015	0.029	0.039	0.011	
20		112.74	1.1	2.1	2.8	0.8	0.015	0.029	0.039	0.011	
15		112.73	1.1	2.1	2.8	0.8	0.014	0.029	0.039	0.011	
10		112.72	1.1	2.1	2.8	0.8	0.003	0.006	0.008	0.002	
9		112.72	1.0	2.1	2.8	0.8	0.003	0.006	0.008	0.002	
8		112.71	1.0	2.1	2.8	0.8	0.003	0.006	0.008	0.002	
7		112.70	1.0	2.1	2.8	0.8	0.003	0.006	0.008	0.002	
6		112.69	1.0	2.1	2.7	0.8	0.003	0.006	0.007	0.002	
5		112.69	1.0	2.0	2.7	0.8	0.003	0.006	0.007	0.002	
4		112.68	1.0	2.0	2.7	0.8	0.003	0.006	0.007	0.002	
3		112.67	1.0	2.0	2.7	0.8	0.003	0.006	0.007	0.002	
2		112.67	1.0	2.0	2.7	0.8	0.003	0.005	0.007	0.002	
1		112.66	1.0	2.0	2.7	0.7	0.003	0.005	0.007	0.002	
							ΣQ _{norm}	1.33	2.65	3.54	0.99
							ΣQ _{norm-meff}	0.65	1.30	1.74	0.49

Für E2 werden für die Bemessungsgeschwindigkeit von E2 von 1,0 m/s bei einer Schlitzweite von 0,45 m Durchflüsse zwischen 0,5 m³/s (Q_{E2} bei UW_{30}) bis 1,0 m³/s (Q_{E2} bei UW_{330}) benötigt. Als mittlerer jährlicher Durchfluss wurden rund 0,7 m³/s berechnet. Da später ein Abfall der Geschwindigkeit auf 0,8 m/s toleriert werden soll, werden die tatsächlich benötigten Durchflüsse geringfügig kleiner sein.

Aus den so ermittelten Q_{norm} bzw. $Q_{normeff}$ (Tabelle 4-1) wurden für die verschiedenen Untersuchungen mittlere jährlich benötigte Durchflüsse Q_a bzw. $(Q_a)_{eff}$ auf der Grundlage der in Anhang 3, Tab. 3-1 vorgestellten Untersuchungsszenarien berechnet, die in Tabelle 4-2 zusammengefasst sind.

Tab. 4-2: Mittlere jährlich benötigte Durchflüsse Q_a bzw. $(Q_a)_{eff}$ nach untersuchter Fragestellung (für die Beschreibung der Szenarien (SZ) und Betriebszustände s. Anhang 3); * = die Untersuchungen der Sammelgalerie folgen nicht dem Blockdesign, daher keine 2 Szenarien sondern Dauerbetrieb

Fragestellung	Dauer [a]	Q_{norm} SZ1	Q_{norm} SZ2	Q_a [m ³ /s]	$Q_{normeff}$ SZ1	$Q_{normeff}$ SZ2	$(Q_a)_{eff}$ [m ³ /s]
		[m ³ /s]	[m ³ /s]		[m ³ /s]	[m ³ /s]	
Nutzen zusätzlicher Einstieg E2 (E1 alleine vs. E1+E2)	2	1.3	1.9	1.	0.6	1.0	0.8
<u>Optional:</u> Nutzen nur Einstieg E2 alleine vs. Einstieg E1 alleine	2	1.3	0.7	1.0	0.6	0.3	0.4
Nutzen zusätzlicher Einstieg E3 (E1 alleine vs. E1 + E3)	2	1.3	2.6	2.0	0.6	1.3	0.8
Sammelgalerie, Einstieg E4	1	3.1*	3.1	2.0*	2.0		
Größe Leitströmung Vergleich kleiner und großer Durchfluss an E1	2	2.3	4.5	3.4	1.1	2.2	1.7
<u>Optional:</u> Größe Leitströmung, Vergleich großer und mittlerer Durchfluss an E1	2	4.5	3.6	4.1	2.2	1.8	2.0
Gesamt/Mittel	11			2.4			1.2

Für die anvisierte Untersuchungsdauer von 9 bzw. 11 Jahren (ohne bzw. mit optionaler Untersuchung E2 alleine vs. E1 alleine) ergibt sich mit den Werten aus Tabelle 4-2 ein auf das Jahr gemittelter Leitdurchfluss aus der FAA von 2,4 m³/s bzw. bei Berücksichtigung der 210 Tage bis zum Wehrüberfall ein Durchfluss von 1,2 m³/s. Wenn berücksichtigt wird, dass für den Betrieb der kleinstmöglichen FAA ein Betriebsdurchfluss von ca. 0,8 m³/s benötigt wird sind die über ein absolutes Minimum hinaus benötigten mittleren Durchflüsse 1,6 bzw. 0,4 m³/s.

Anhang 5: FuE Betriebs- und Planungsvorgaben

FuE Betriebs- und Planungsvorgaben für die Pilotanlage Wallstadt

Der maximal benötigte Durchfluss für die geplanten FuE-Untersuchungen an den Einstiegen beträgt $6,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Er ergibt sich bei der Untersuchung der Dotation, wenn der große Leitdurchfluss (siehe Anhang 4) bei einem Unterwasserstand UW_{330} betrieben wird. In E1 beträgt dann der Gesamtdurchfluss $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$ plus Betriebsdurchfluss der parallelen Baseline-Messung in E3 von $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei noch höheren Unterwasserständen bleiben die Durchflüsse der FAA auf diesem Level konstant.

Der je Einstieg maximal notwendige Durchfluss beträgt in E1 somit $5,1 \text{ m}^3/\text{s}$, in E3 werden bei einer Breite von $0,6 \text{ m}$ maximal $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ benötigt und in E2 sind es $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Da der Betriebsdurchfluss jeweils ca. $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt, müssen in E1 bis zu $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dotiert werden und in E3 bis zu $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Für den Betrieb von E2 müssen lediglich bis zu $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ zugegeben werden (siehe Anhang 4).

Die Dotation muss kurzfristig täglich änderbar sein (Einsatz entsprechender Mess-, Steuer- und Regeltechnik).

Die Einstiege E1, E2 und E3 müssen hinsichtlich der Dotation unabhängig voneinander regelbar sein.

Die Breite der Einstiegsöffnung an E1 muss zwischen $0,45 \text{ m}$ und $1,6 \text{ m}$ variabel sein. Die Breite von E3 muss zwischen $0,45 \text{ m}$ und $0,6 \text{ m}$ verstellbar sein.

Zur Erfassung der Fische kommen entsprechend Anhang 1 verschiedene Methoden zum Einsatz, die baulich zu berücksichtigen sind.

Bauliche Einrichtungen, die dazu dienen, Sicherheitsvorschriften bei der Begehung und Arbeit in den Untersuchungsbereichen einzuhalten, müssen berücksichtigt werden (z. B. Geländer, Treppen, Abdeckungen o. Ä.).

In Tab. 5-1 wird anhand der verschiedenen (insgesamt 5) Untersuchungen dargestellt

- welche Szenarien jeweils verglichen werden
- welche Leitdurchflüsse an den betroffenen Einstiegen jeweils eingestellt werden
- wie sich diese Leitdurchflüsse vom Minimum (bei UW_{30}) zum Maximum (bei UW_{330}) ändern

In der letzten Zeile wird dargestellt, welche minimalen bzw. maximalen Durchflüsse je Einstieg und (letzte beiden Spalten) in Summe aller Einstiege (über alle Untersuchungen) bereitgestellt werden müssen.

In den letzten beiden Spalten "alle Einstiege $Q_{\text{gesamt}} [\text{m}^3/\text{s}] W_{30}$ und W_{330} " wird dargestellt, welche Durchflüsse gesamt je Szenario bei den entsprechenden Wasserständen benötigt werden.

Zu den Werten ist Folgendes zu beachten:

Bei allen Durchflüssen handelt es sich um grobe, vorläufige Abschätzungen auf Grundlage des derzeitigen Planungsstandes, die im weiteren Planungsprozess sowie teilweise auch nach Fertigstellung der Anlage noch geprüft und ggf. nachjustiert werden müssen.

Tabelle 5-1: FuE Betriebsvorgaben Pilotanlage Wallstadt; alle Durchflussangaben auf eine Nachkommastelle aufgerundet

			E1				E3				E4				E2				alle Einstiege		
Einzeluntersuchungen (durchlaufend nummeriert)			Q [m³/s]		E-Weite [cm]	E-Tiefe [cm]		Q [m³/s]		E-Weite [cm]	E-Tiefe [cm]		Q [m³/s]		E-Weite [cm]	E-Tiefe [cm]		Q _{ges} ³ [m³/s]			
			W30	W330		W30	W330	W30	W330		W30	W330	W30	W330		W30	W330	W30	W330		
Untersuchung zu E2	U1: E1 alleine (SZ1) vs. E1+E2 (SZ2)	SZ1	1,1	1,9	60	120	213												1,1	1,9	
		SZ2	1,1	1,9	60	120	213								0,6	1,0	45	120	213	1,7	2,9
	optional U2: E1 alleine (SZ1) vs. E2 alleine (SZ3)	SZ1	1,1	1,9	60	120	213												1,1	1,9	
		SZ3													0,6	1,0	45	120	213	0,6	1,0
Untersuchungen zur Dotation	U3: kleiner Durchfluss (SZ1) vs. großer Durchfluss (SZ2)	SZ1	1,1	1,9	60	120	213	0,8	1,5	45	120	213							1,9	3,4	
		SZ2	2,9	5,1	160	120	213	0,8	1,5	45	120	213							3,7	6,6	
	U4: großer Durchfluss (SZ2) vs. mittlerer Durchfluss (SZ3), (optional, nur wenn bei U1 großer Durchfluss besser als kleiner Durchfluss ist)	SZ2	2,9	5,1	160	120	213	0,8	1,5	45	120	213							3,7	6,6	
		SZ3	2,2	3,8	120	120	213	0,8	1,5	45	120	213							3,0	5,3	
Untersuchung zu E3	U5: E1 alleine (SZ1) vs. E1+E3 (SZ2)	SZ1	1,1	1,9	60	120	213												1,1	1,9	
		SZ2	1,1	1,9	60	120	213	1,1	1,9	60	120	213							2,2	3,8	
Untersuchung zu E4	U6: Dauerbetrieb mit Didson-Untersuchung E1 (kl. Durchfluss) + E3 (kleiner Durchfluss) + E4		1,1	1,9	60	120	213	1,1	1,9	60	120	213	0,7	0,7	45	50	50			2,9	4,5
			↓				↓						↓						↓		
			Q _{min} W ₃₀	Q _{max} W ₃₃₀			Q _{min} W ₃₀	Q _{max} W ₃₃₀			Q _{min} W ₃₀	Q _{max} W ₃₃₀			Q _{min} W ₃₀	Q _{max} W ₃₃₀			Q _{min} W ₃₀	Q _{max} W ₃₃₀	
benötigte Minimal- und Maximaldurchflüsse der Anlage			1,1	5,1			0,8	1,9			0,7	0,7			0,6	1,0			0,6	6,6	
Baseline-Durchfluss; wäre auch mit kleinem Leitdurchfluss möglich bei 60 cm Einstiegsweite und höherem Durchfluss, dann wäre keine flexible Einstiegsweite an E3 notwendig kleiner Leitdurchfluss gleiche Ausbreitung der Leitströmung angesetzt wie an E1 Konservativer Maximaldurchfluss (mit Puffer) Konservativer Optionaldurchfluss grobe sehr vorläufige Abschätzung; Einstieg wird als einfacher Schlitz in der Wand betrachtet, dessen Unterkante mit dem Wasserstand verschoben wird (z.B. durch Blende) um kontinuierlich den gleichen Durchflussquerschnitt zu erzeugen; weitergehende hydraulische Überlegungen wurden noch nicht angestellt und der hydraulische Nachweis für E3+E4 muss noch erbracht werden (Planungsaufgabe)																					

Anhang 6: Literatur

- BATES, K. 2000. Fishway guidelines for Washington State. Washington Department of Fish and Wildlife.
- BAW/BfG 2019: Empfehlung für die Bemessung der Leitströmung von Fischaufstiegsanlagen an Standorten mit Wasserkraftnutzung für den kraftwerksnahen Einstieg, 35 S. open access: <https://henry.baw.de/handle/20.500.11970/106982>
- BfG und BAW. 2017. Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit für Fische an den Staustufen der Bundeswasserstraßen - Rahmenkonzept für Forschung und Entwicklung. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz und Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, doi: 10.5675/SB012018.
- BMLFUW. 2012. Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMVBS. 2012. Erhaltung und Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Bundeswasserstraßen - Erläuterungsbericht zu Handlungskonzeption und Priorisierungskonzept. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn.
- CLAY, C.H. 1995. Design of fishways and other fish facilities. CRC Press.
- DORMANN, C.F. und KÜHN, I. 2011. Angewandte Statistik für die biologischen Wissenschaften. Helmholtz Zentrum für Umweltforschung-UFZ, https://www.ufz.de/export/data/1/22396_deutschstatswork_23022011.pdf. p. 245.
- DUMONT, U., ANDERER, P. und SCHWEVERS, U. 2005. Handbuch Querbauwerke. Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MUNLV), Aachen.
- DWA. 2006. Funktionskontrolle von Fischaufstiegsanlagen - Auswertung durchgeführter Untersuchungen und Diskussionsbeiträge für Durchführung und Bewertung, Hennef.
- DWA. 2014. Merkblatt DWA-M 509, Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke - Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef.
- FAO. 2001. Dams, fish and fisheries. *Edited by* G. Marmulla. FAO, Rome. p. 169.
- HYDABA 2014. Hydrologische Datenbank der BfG
- NLWKN. 2017. Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Weser- und Emsgebiet 2014. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Norden.
- ORVIS, C.T., Brett; Mulligan, Kevin 2016. Fish passage engineering design criteria (internal document). United States Fish and Wildlife Service.
- PAVLOV, D.S. 1989. Structures assisting the migrations of non-salmonid fish: USSR. Severtsov's Institute of the Evolutionary, Rome.
- SEIFERT, K. 2016. Praxishandbuch Fischaufstiegsanlagen in Bayern - Hinweise und Empfehlungen zu Planung, Bau und Betrieb. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
- WEICHERT, R., KAMPKE, W., DEUTSCH, L. und SCHOLTEN, M. 2013. Zur Frage der Dotationswassermenge von Fischaufstiegsanlagen an großen Fließgewässern. WasserWirtschaft 1(2): 33-38.