## **Der Einfluss des**

schifffahrtsbedingten Wellenschlages

auf die Entwicklung der Fischfauna der Donau.

Studie in Auftrag gegeben vom Fischereirevierverband II – Korneuburg

> Fritz Schiemer Elisabeth Bartl Verena Hirzinger Anton Weissenbacher Horst Zornig

Dezember 2001

## Inhaltsverzeichnis

1	EINLE	EITUNG	4
2	Метн	IODIK	6
2	2.1	SCHWEBSTOFFGEHALT	6
2	2.2	WELLENGESCHWINDIGKEIT	7
2	2.3	Sog und Schwall	8
2	2.4	WELLENHÖHE	9
2	2.5	BEFISCHUNG	9
2	2.6	SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT	10
2	2.7	BERECHNUNGEN	10
2. 2.	7.1 7.2	SCHWEBSTOFFE WELLENGESCHWINDIGKEIT, SOG UND SCHWALL	10 10
3	Unte	RSUCHUNGSGEBIET	11
3	6.1	DIE DONAU	11
3	3.2	STANDORTWAHL	12
3. 3.	2.1 2.2	EIGNUNG ALS 0+ FISCHHABITAT ENTFERNUNG VON DER SCHIFFFAHRTSRINNE	12 14
3	8.3	STANDORT FISCHAMEND – BUCHT (STELLE 1)	15
3	8.4	STANDORT ORTH AN DER DONAU – BUCHT (STELLE 2)	16
3	8.5	STANDORT STOPFENREUTH – SCHOTTERSTRUKTUR (STELLE 3)	17
3	8.6	Standort Schönau – Schotterstruktur (Stelle 4)	22
3	8.7	TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG	24
4	Erge	BNISSE UND DISKUSSION	26
4	l.1	SCHWEBSTOFFE	26
4	.2	WELLENGESCHWINDIGKEIT (STRÖMUNG)	31

	4.3	SOG UND SCHWALL	43			
	4.4	WELLENHÖHE	52			
	4.5	BEFISCHUNGEN	54			
	4.6	SCHLEUSENSTATISTIK	55			
5	Zusa	MMENFASSUNG	58			
6	LITER	RATUR	59			
7	ABBILDUNGSVERZEICHNIS					
8	Таве	ELLENVERZEICHNIS	66			
9	BILD	ANHANG	67			

## **1 EINLEITUNG**

Die ökologischen Ansprüche von Flussfischen wurde in den letzten 20 Jahren in der Donau und anderen grossen Flüssen Europas intensiv untersucht (Keckeis *et al.*, 1997). Ursache dafür waren unter anderem der massive Rückgang von Fischarten, die durch ihr früheres Massenauftreten als Leitformen für bestimmte Regionen charakteristisch (Nase, *Chondrostoma nasus*) und namensgebend, wie zum Beispiel die Barbenregion (Barbe, *Barbus barbus*), waren.

Verantwortlich für diesen Rückgang vieler rheophiler Arten sind vor allem die wasserbaulichen Umgestaltungen, die durch intensive Nutzungsansprüche hervorgerufen wurden. Generalisierend kann man die Auswirkungen der bekannten, unter anderem für die Fischfauna negativen baulichen Veränderungen, die indirekt auch durch die Schifffahrt bedingt, sind folgendermaßen zusammenfassen:

Regulierungsmaßnahmen wurden und werden vor allem zum Hochwasserschutz, zur Umwandlung ehemaliger Au- und Retentionsgebiete zu landwirtschaftlich nutzbaren Flächen und zur Verbesserung aber auch zur Aufrechterhaltung der Schifffahrtsmöglichkeiten durchgeführt. Diese Maßnahmen führen durch die strikte Trennung von Fluss und seinen Nebengewässern zu einem erheblichen Wasserflächen- und Lebensraumverlust (Wurzer, 1988; Weber, 1989). Interaktionen vom Hauptstrom und seiner Fischfauna mit dem ehemaligen Umland sind nicht mehr möglich. Die ökologischen Bedingungen der Donau selbst haben sich durch ihre Regulierung dramatisch verändert. Die Verkürzung (Streckung) des Flusslaufes durch Begradigungen führt zu einer Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit und damit, über die Änderungen der Geschiebeverhältnisse, zu einer kontinuierlichen Eintiefung von etwa zwei Zentimetern pro Jahr (Schiemer & Reckendorfer, 2000). Dies hat eine zunehmende Desintegration von Fluss und Auen, sowie von flachen Buchthabitaten zur Folge. Wegen der verstärkten erodierenden Wirkung der Strömungsgeschwindigkeit und wegen schiffahrtsbedingten erhöhten des Wellenschlags, ist heute der größte Teil der Donauufer blockwurfgesichert. Diese Verringerung der Habitatsdiversität in den Uferbereichen führt genauso wie Schotterentnahmen zu einer Monotonisierung der, für die ökologische Integrität der Donau sehr wichtigen Uferregionen (Schiemer & Spindler, 1989). Eine

4

flächenmäßige Einschränkung von geeigneten Laich-, Aufwuchs-, und Rückzugsgebieten rheophiler Flussfische ist die Folge.

Diese *indirekten Auswirkungen* der Berufs- und Freizeitschifffahrt (vor allem durch bauliche Begleitmaßnahmen) auf die Flussfischfauna, im Bezug auf Lebensraumund Strukturverlust sind großteils gut untersucht und dokumentiert (Schiemer *et al.*, 1994).

Die direkten Auswirkungen, d.h. ursächlich von den Schiffen herrührenden Veränderungen der ökologischen Bedingungen in großen Fließgewässern sind trotz der langen Geschichte der Binnenschifffahrt limnologisch unzureichend untersucht und können bislang kaum durch wissenschaftlich quantifizierte Daten belegt werden (Murphy et al., 1995). Negative Auswirkungen des schiffahrtsbedingten Wellenschlags wurden jedoch schon vielfach beobachtet (Pock, G.: Donau nahe der Pielachmündung; Spolwind R. & Weissenbacher A.: Donau oberhalb der Schwalbeninsel (Stopfenreuth), mündliche Mitteilungen). Vor allem durch Wellen an Land verfrachtete Jungfische und das, durch die Sogwirkung kurzzeitige Trockenfallen von Jungfischhabitaten, ist bekannt (Zauner & Schiemer, 1992). Zu diesen spektakulären Katastrophenereignissen kommen jedoch die permanenten schiffahrtsbedingten Verschlechterungen der Lebensbedingungen hinzu. Hochfrequente Störungen, auch kleineren Ausmaßes, schaffen unvorhersehbare Bedingungen im Ökosystem (Odum, 1975, Ward, 1998).

Dieser Studie quantifiziert das Ausmaß der direkt durch die Schifffahrt verursachten Störungen und ihre Auswirkungen auf die Entwicklung der Jungfischfauna der Donau über eine Kombination folgender Parameter:

- Veränderungen des Schwebstoffhaushalt und deren Auswirkungen
- Veränderungen der Strömungsverhältnisse durch Wellenschlag im Uferbereich und dadurch entstehende Konsequenzen
- Flächenveränderung von Jungfischhabitaten innerhalb kurzer Zeiträume und daraus resultierender Lebensraumverlust

5

## 2 METHODIK

Zur Untersuchung des Einflusses von schifffahrtsbedingtem Wellenschlag auf die Entwicklung der Fischfauna der Donau, wurden an jedem Standort folgende Parameter erhoben: Trübe (Schwebstoffgehalt), Wellengeschwindigkeit, Sog und Schwall und Die Wellenhöhe (Hub) im unbeeinflussten Zustand (= Referenzwerte ). Für jedes Störungsereignis (= Schiff ) wurden dieselben Parameter über die gesamte Beeinflussungsdauer notiert (Abb.2.1).



Abb. 2.1 Methodik, Überblick.

#### 2.1 SCHWEBSTOFFGEHALT

#### (Trübe)

Zur Feststellung der Veränderung des Schwebstoffgehalts durch den schifffahrt bedingten Wellenschlag wurden an jedem Untersuchungsstandort Wasserproben in einer Wassertiefe von 20 cm gezogen. Eine Probe wurde im unbeeinflussten Zustand, das heißt ohne Schiffseinwirkung, und je eine Wasserprobe wurde bei jedem beobachteten Schiff und zwar während der stärksten Beeinflussung entnommen und ins Labor gebracht. Dort wurde ein genau bestimmtes Volumen jeder Probe über vorbehandelte Glasfaserfilter (APF/F) filtriert. Zur Vorbehandlung wurden diese 4 Stunden bei 450 °C im Trockenschrank erhitzt und anschließend abgewogen. Nach der Filtration wurden das aus den Proben gewonnene Filtrat bis zur Gewichtskonstanz bei 95°C im Trockenschrank getrocknet. Die getrocknete Probe mit Filter wurde anschließend nochmals gewogen, das Gewicht des Filters abgezogen und so der Schwebstoffgehalt jeder Probe für 1 Liter Probenvolumen berechnet.

Weiters wurden an einem Termin Messungen mit einem Trübemessgerät (Horiba, Water Quality Checker U10) durchgeführt, um einen zeitlichen Verlauf der Trübebeeinflussung zu erhalten. Diese Messungen fanden in einer Wassertiefe von 30 cm statt, da die Größe der Messeinheit eine Messung in 20 cm Wassertiefe, aus der auch die anderen Trübeproben gewonnen wurden, nicht zuließ.

#### 2.2 WELLENGESCHWINDIGKEIT



Abb. 2.2 Strömungsmessung, Flow-Mate, Diktaphon.

Die Wellengeschwindigkeit wurde mit einem elektronischen Strömungsmessgerät (Marsh-McBirney, Flow Mate<sup>™</sup>) gemessen. Der Sensor des Messgerätes wurde an

der zugehörigen Meßlatte 15 cm über dem Sediment in einer Wassertiefe von 30 cm fixiert (Abb. 2.2). Die Messtiefe von 15 cm wurde gewählt, da Vorversuche ergeben haben, dass in dieser Tiefe die Gefahr des Trockenfallens des Sensors gering war und gleichzeitig der Sensor in genügender Höhe über dem Sediment lag, um nicht durch aufgewirbeltes Sediment gestört zu werden. Die Messwerte wurden am Ufer im Abstand von 2 Sekunden von der tragbaren Elektronikeinheit abgelesen und aufgezeichnet.

#### 2.3 SOG UND SCHWALL

Zur Feststellung der Sog- und Schwallwirkung wurden 2 jeweils 2,5 m lange und 10 cm hohe Aluminiumlatten im rechten Winkel zur Uferlinie so montiert, sodass eine Latte von der Wasseranschlagslinie nach außen zeigte, also im unbeeinflussten Zustand bis auf wenige mm vollkommen im Wasser lag, während die zweite Latte im unbeeinflusstem Zustand praktisch vollkommen trocken lag. Eine Videokamera wurde auf einem Stativ so montiert, dass beide Latten gleichzeitig aufgezeichnet wurden.

Die Auswertung der Videobänder erfolgte mit Hilfe eines Bildverarbeitungsprogramms (Optimas Corp.) am Computer. Alle 15 Sekunden wurde dazu die Auslenkung von der Wasseranschlagslinie aus gemessen und als positiver (Schwall) oder negativer Wert (Sog) aufgezeichnet (Abb. 2.3).



Abb. 2.3 Sog und Schwall.

#### 2.4 WELLENHÖHE



Abb. 2.4 Meßlatte für die Wellenhöhe

Zur Feststellung der durch die Schifffahrt bedingten Wellenhöhe, wurde eine Pegellatte in 30 cm Wassertiefe der jeweiligen Probenstelle durch Einschrauben in das Sediment fest verankert. Auf dieser Pegellatte befand sich eine 1 cm Skalierung mit zusätzlich hervorgehobenen 5 cm Markierungen (Abb. 2.4). Sobald ein Schiff am Messpunkt vorbeifuhr, wurden die dadurch generierten Wasserspiegelschwankungen mit einer Videokamera (Sony Handycam), die am Ufer auf einem Stativ montiert wurde, aufgezeichnet. Die Auswertung der Videobänder erfolgte mit Hilfe eines Bildverarbeitungsprogramms (Optimas Corp.) am Computer. Dazu wurde alle 30 Sekunden jeweils die Höhe eines Wellenberges, der durch vorbeifahrende Schiffe entstand, und die Höhe des darauffolgenden Wellentals vermessen.

#### 2.5 BEFISCHUNG

Die Befischung der einzelnen Stellen erfolgte elektrisch mit einem Rückenaggregat (Marke Sachs) bei einer Spannung von 200 Volt und einer Stromstärke von 3 Ampère, mittels point-abundance-sampling-Methode (Nelva *et al.*, 1979; Persat & Copp, 1989; Copp & Peňáz, 1988). An jeder Stelle wurden 25 Punkte im Abstand

von mindestens 2 m entlang der Uferlinie im Bereich bis ca. 40 cm Wassertiefe befischt. Nach Winkler *et al.* (1997) sind bis zu dieser Tiefe 72% aller an einer Stelle vorkommenden Jungfische eingenischt. An jedem Punkt wurde die Anode mit einem Durchmesser von 30 cm für 3 Sekunden ins Wasser eingetaucht. Sofort anschließend wurden die Fische mit einem Kescher (Maschenweite 1 mm), der unter die Anode geführt wurde, entnommen. Die gesammelten Jungfische wurden gezählt, wenn möglich bestimmt und anschließend sofort wieder zurückgesetzt.

#### 2.6 SCHIFFSGESCHWINDIGKEIT

Die Schiffsgeschwindigkeit wurde von 2 Beobachtern ermittelt, die sich in einem Abstand von 2 km am Flussufer aufhielten und die Durchfahrtsgeschwindigkeiten der einzelnen Schiffe mittel Stoppuhren genau festhielten. Allerdings wurde auf diese Weise die Schiffsgeschwindigkeit stark überschätzt, sodass anstelle der Geschwindigkeitswerte die Schiffe nur in die Klassen: "langsam" – "mittel" – "schnell" eingeteilt wurden. Aufgrund nicht signifikanter Ergebnisse werden diese in weiteren Berechnungen jedoch nicht berücksichtigt.

## 2.7 BERECHNUNGEN

Die einzelnen Schiffe wurden für alle aufgenommenen Parameter in 5 Schiffsklassen zusammengefasst: Ausflugsschiffe, Frachter, Sportboote, Tragflügel und Zillen.

#### 2.7.1 Schwebstoffe

Die filtrierten Wasserproben wurden aufgrund des hohen Schwebstoffgehalts in Gramm pro Liter [gl<sup>-1</sup>] angegeben, die aus der Literatur entnommen Werte wurden auf diese Einheiten umgerechnet. Die Messwerte für den Trübeverlauf in der Zeit wurden in NTU (Nephelometric Turbidity Unit) angegeben.

#### 2.7.2 WELLENGESCHWINDIGKEIT, SOG UND SCHWALL

Ausgenommen für Frequenzanalysen, in denen die Rohdaten Eingang fanden, wurden die aufgenommenen Messwerte in Amplituden, das ist die Differenz zwischen 2 Messwerten, umgerechnet. Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass die Veränderung in der Zeit aufgezeichnet wurde. Diese wurden kumuliert (aufsummiert) um diese Veränderung in der Zeit sichtbar zu machen. Daraus ergaben sich sigmoide (S-förmige) Kurven. Um den Einfluss eines jeden Schiffes quantifizieren zu können, wurde ein Faktor für die Störungsintensität eingeführt. Für diesen wurde nur der steile Abschnitt der sigmoiden Kurve berücksichtigt. Durch diesen wurde eine Gerade gelegt und ihr Anstieg *k* wie folgt berechnet,

# $k = \frac{\Delta Strömungsamplitude}{\Delta Bee inf \ lussungsdauer}$

wobei die Strömungsamplitude (y-Achse) in Zentimeter pro Sekunde und die Beeinflussungsdauer (x-Achse) in Sekunden angegeben wird. Um diesen Anstieg mit anderen Schiffen vergleichbar zu machen, muss die gesamte beeinflusste Zeit tberücksichtigt werden. Daraus ergibt sich ein Störungsintensitätsindex  $\omega$  wie folgt:

 $\omega = k \times t$ 

hierbei ist die beeinflusste Zeit in Minuten angeben.

## **3** UNTERSUCHUNGSGEBIET

#### 3.1 DIE DONAU

Die Donau durchfließt Österreich auf 350 km von West nach Ost und ist neben der Rhône und dem Rhein einer der drei großen Flüsse Mitteleuropas. Ihr durchschnittliches Gefälle in Österreich beträgt 0,043 %, der mittlere Durchfluss beträgt 2.000 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>. Das hydrologische Regime ist durch hohe saisonale Variabilität im Abfluss charakterisiert. Die Hochwasserwahrscheinlichkeit erreicht Maxima im Frühjahr, bedingt durch die Schneeschmelze in den Alpen und bisweilen im Sommer nach starken Niederschlägen im Einzugsgebiet. Die ursprüngliche hydrologische Sedimentfracht die charakteristisch hohe Donau Dynamik sowie der (Nachtnebel et al., 1989) ließen in Wiener Becken und südlichem Marchfeld ausgedehnte Überschwemmungsflächen und einen aktiv furkierenden und migrierenden großen Fluss entstehen. In den letzten 120 Jahren wurden zwei drastische anthropogene Veränderungen vorgenommen:

- 1. Regulierungsmaßnahmen zum Zwecke des Hochwasserschutzes (Dämme, Uferbefestigungen) und zum Erhalt einer durchgehend befahrbaren Schifffahrtsrinne (Leitwerke. Buhnen sowie die Ausbaggerung der Schifffahrtsrinne), sowie
- 2. Konstruktion einer beinahe durchgehende Kraftwerkskette von neun Laufstauen auf österreichischen Staatsgebiet.

Dies führte zu einem einschneidenden Wandel in Morphologie und Hydrologie der ursprünglichen Donau: Kanalisierung, Verlust von Uferstrukturen, Abtrennung von Nebenarmen, starke Verlandungstendenzen in den wenig angebunden Auregionen, Änderungen im Geschiebetrieb und Eintiefungsphänomene. Bis auf die zwei verbleibenden freien Fliessstrecken und die Stauwurzelbereiche ist eine Potamalisierung zu verzeichnen. Die von all dem am wenigsten betroffenen Abschnitte der Donau stellen eben diese verbliebenen freien Fliessstrecken in der Wachau und im Nationalpark Donauauen dar. Daher wurde auf der Suche nach morphologisch und hydrologisch geeigneten Jungfischhabitaten auf Stellen in der Donau unterhalb Wiens zurückgegriffen (Schiemer *et al.*, 1991).

#### 3.2 STANDORTWAHL

Vorbedingung für die Wahl der einzelnen Standorte der vorliegende Untersuchung war eine möglichst optimale Eignung als 0+ Fischhabitat sowie eine maximal unterschiedliche Distanz der verschiedener Standorte zur Schifffahrtsrinne.

## 3.2.1 EIGNUNG ALS 0+ FISCHHABITAT

Die Überlebenschancen frisch geschlüpfter Larven reophiler Fischarten hängt wesentlich von der räumlichen Lage von Laichplatz und strömungsgeschützten littoralen Buchten zusammen. Die Larven werden nach dem Schlupf von den Laichplätzen, an denen hohe Strömungsgeschwindigkeiten herrschen, passiv mit der Wasserströmung transportiert (verdriftet). Wenn der Laichplatz in einem ungünstigen Winkel zur strömungsberuhigten Bucht liegt, oder dieser Habitatstyp nicht vorhanden ist, werden die Larven z.B. an blockwurfgesicherte Uferabschnitte geschwemmt, an denen ihre Überlebenschancen sehr gering sind (Spindler, 1995). Im einzelnen können im Uferbereich der Donau zwei Habitatstypen für Larval- bzw. Jungfische unterschieden werden (Abb. 3.2.1):

- Littorale Buchten (Standort 1 und 2) sowie
- Schotterbänke (Standort 3 und 4).

#### Littorale Bucht:

Die Strömungsgeschwindigkeiten sind in solchen Habitaten generell sehr niedrig, großteils liegen sie unter 10 cms<sup>-1</sup>. Der Neigungswinkel zum Ufer ist sehr flach, das Sediment besteht hauptsächlich aus Schlamm und Sand. In diesen Buchten werden im Vergleich zur Schifffahrtsrinne sehr hohe Temperaturen erreicht. Von Jungfischen verwertbare Nahrungsressourcen wie Benthos, Drift und Plankton erreichen in diesem Habitattyp im Vergleich zur Schotterbank immer höhere Dichten (Keckeis et al., 1997). Littorale Buchten sind in den ersten Wochen nach dem Schlüpfen für rheophile und strömungsindifferente Fischlarven der bevorzugte Habitattyp. Bis in den Spätsommer trennen sich die zwei ökologischen Gruppen ihren nun unterschiedlichen Ansprüchen entsprechend auf. Während nach die strömungsindifferenten Arten in der Bucht verbleiben, wechseln die rheophilen Arten mit zunehmender Körpergröße in den zweiten Habitatstyp: die Schotterbank (Abb. 3.2.1).



Abb. 3.2.1 Schematische Darstellung der Veränderung der Lebensraumansprüche zwischen eurytopen und reophilen Jungfischen in den ersten Lebensmonaten (Schiemer & Spindler, 1989)

#### Schotterbänke:

Es handelt sich hier ebenfalls um flache Habitate, mit geringem Böschungswinkel jedoch mit einem breiteren Substrat- und Strömungsgradienten als in der littoralen Bucht. Die Temperatur ist höher als in der Schifffahrtsrinne, erreicht aber nicht die Werte der Buchthabitate. Diese Uferstrukturen sind ebenfalls als Refugialräume entscheidend für eine ungestörte Entwicklung der bedrohten rheophilen Donaufischfauna (Schiemer *et al.*, 1991; Keckeis *et al.*, 1997).

Die Ufer von 90% der freien Fliessstrecke östlich von Wien bestehen aus Blockwurf, mit einem sehr steilem Böschungswinkel (Keckeis *et al.*, 1997). Diese Abschnitte sind als Lebensraum für Jungfische ungeeignet. Bestenfalls 10% der Uferlinie kann also die morphologischen Kriterien der oben beschriebenen Habitatstypen erfüllen.

#### 3.2.2 ENTFERNUNG VON DER SCHIFFFAHRTSRINNE



Abb. 3.2.2 Überblickskarte der Donau unterhalb Wiens. Blaue Felder entsprechen den untersuchten Standorten.

Im Zuge der Begehungen zur Auswahl geeigneter Standorte für das Aufkommen von Jungfischen mit unterschiedlicher Entfernung zur Schifffahrtsrinne zeigte sich, dass eine Distanz von 150 m bei mittleren Wasserständen nicht unterschritten wird. Buchten und Schotterbänke mit einer geringeren Entfernung zur Schifffahrtsrinne entsprechen zwar morphologisch den oben beschriebenen Standortbeschreibungen, erfüllen mit Strömungen durchwegs über 10 cms<sup>-1</sup> aber nicht die geforderten hydrologischen Bedingungen für eine geeignete Kinderstube für Fische. Die 10% unverbaute Uferlinie der Donau unterhalb Wiens (siehe oben) sind daher nur zu einem kleinen Teil auch hinsichtlich ihrer Strömungsverhältnisse als potentielles Refugium für Jungfische zu betrachten.

Die zwei Bucht- bzw. Schotterbankstandorte, die im folgenden gewählt wurden, entsprechen zusätzlich zu einer möglichst unterschiedlichen Distanz zur Begrenzungsboje der Schifffahrtsrinne, sowohl den morphologischen als auch den hydrologischen Anforderungen an ein Jungfischhabitat im Hauptstrom der Donau (Abb. 3.2.2).



## 3.3 STANDORT FISCHAMEND – BUCHT (STELLE 1)

Abb. 3.3.1 Überblickskarte der Donau bei Fischamend. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 1.

Die im weiteren als Stelle 1 bezeichnete große Bucht bei Stromkilometer 1909,2 ist mit einer Profilneigung von 7,8° die steilste der untersuchten Stellen. Sie ist charakterisiert durch äußerst geringe Strömungsgeschwindigkeiten zwischen –3 und 0 cms<sup>-1</sup>, durch ein großes Flachwasserareal von rund 175 m<sup>2</sup> sowie durch schlammig – schottriges Substrat (Abb. 3.3.1 und 3.3.2, Tab. 3.7.1 und 3.7.2).



Abb. 3.3.2 Stelle 1, Bucht bei Fischamend.

3.4 STANDORT ORTH AN DER DONAU – BUCHT (STELLE 2)



Abb. 3.4.1 Überblickskarte der Donau bei Orth. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 2.

Dieser Standort wird in der vorliegenden Literatur als günstig für Brutfische ausgewiesen und als littorale Bucht> beschrieben (Abb. 3.4.1 und 3.4.2, Tab 3.7.1

und 3.7.2). Das Ufer ist stark bewachsen. Das Substrat besteht aus Schlick und Sand in Ufernähe sowie uferferner aus schlammigem Schotter. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind stets gering, auch bei höheren Wasserständen. Das Nahrungsangebot für Fische ist divers, von Plankton bis zu Makrozoobenthos. Die Fischfauna wird als divers beschrieben. Die Anzahl an rheophilen Fischarten (11) ist hoch, strömungsindifferente Arten werden ebenso gefunden (Spindler, 1989).Die vorliegende Untersuchung bestätigt die angegebene Substratverhältnisse wobei Schlamm und Sand bei einem erhöhten Mittelwasserstand (Juli 2001) im Uferbereich dominieren. Zum Zeitpunkt der Untersuchung ist eine Fläche von 390 m<sup>2</sup> von weniger als 40 cm Wasser bedeckt. Die Strömungsgeschwindigkeiten erreichen minimal – 7 bis maximal + 7 cms<sup>-1</sup> bei einem Mittelwert von –  $0.7 \pm 2$  cms<sup>-1</sup>.



Abb. 3.4.2 Stelle 2, Bucht in Orth an der Donau.

#### 3.5 STANDORT STOPFENREUTH – SCHOTTERSTRUKTUR (STELLE 3)

Der Standort Stopfenreuth stellt ein Schotterfeld im Strömungsschatten eines Buhnenfeldes dar und ist ökologisch als potentielles Jungfischhabitat einzuschätzen (Abb. 3.5.1, 3.5.2 und 3.5.3, Tab 3.7.1, 3.7.2, 3.7.3 und 3.7.4). Nach Spindler (1989) sind derartige Strukturen durch mittlere Diversität der Jungfischfischfauna gekennzeichnet.



Abb. 3.5.1 Überblickskarte der Donau bei Stopfenreuth. Das blaue Feld entspricht dem untersuchten Stelle 3.



Abb. 3.5.2 Stelle 3, Buhnenschotterfeld bei Stopfenreuth im Juli (erhöhtes Mittelwasser), Blick stromauf.

Buhnenschotterfelder unterschiedlichen Alters und Zustandes sind häufige Strukturbildner des Hauptstromes regulierter Flüsse. Innerhalb eines Feldes variieren Strömungsverhältnisse, Sedimentzusammensetzung und Profilgestalt. Je nach Wasserstand unterscheidet sich auch die Größe der Flachwasserbereiche. Am untersuchten Standort beträgt die flach (bis 40 cm Wassertiefe) überströmte Fläche bei erhöhtem Mittelwasser im Juni rund 560 m<sup>2</sup> (Abb. 3.5.2), bei Niederwasser im September rund 1.260 m<sup>2</sup> (Abb. 3.5.3). Die Länge der Wasseranschlagslinie beträgt im Frühjahr 143 m auf eine Länge von 140 m Luftlinie, im Herbst 153 m auf 140 m Luftlinie. Das Sediment besteht geschätzt aus: 29% Sand, 20 % Steinen < 1 cm, 30% Steinen > 1 cm, 20% Steinen > 5 cm und 1% Steinen > 10 cm.



Abb. 3.5.3 Stelle 3, Buhnenschotterfeld bei Stopfenreuth im September (Niederwasser), Blick stromauf.

Detailprofilmessungen bei Niederwasser ergaben das in Abb. 3.5.3 dargestellte Tiefenrelief (Hinweis: z – Achse in cm, x – und y – Achse in m). Verschieden intensive blaue Linien bedeuten flache Reliefs, je dunkler die Linen, desto tiefer ist das Profilteilstück. Trotz einer gewissen Tiefenvariabilität entlang des gesamten Buhnenfeldes ist dieses Habitat als durchwegs flach anzusehen. Die hydrologischen Parameter wurden bei Profil 20 (Wasseranschlagslinie), also einem mittelflachen Teilstück erhoben.



Abb. 3.5.4 Stelle 3, Tiefenrelief bei Niederwasser (31. August, Wildungsmauer 111 cm, Mittelwasser (MW \_96 = 216) minus 105). Roter Bereich = 40 cm Wassertiefe. Die Längenangaben des Buhnenschotterfeldes folgen der Stromkilometrierung der Donau und sind daher der Fließrichtung entgegengesetzt.

Einen zweidimensionalen Eindruck der Tiefenvarianzen gibt Abb. 3.5.5. Je dunkler die blauen Flächen sind, desto tiefer ist das betreffende Teilstück. Besonders hervorzuheben wäre das 70 m Profil, das bei 15 m Entfernung von der Wasseranschlagslinie nur 70 cm Wassertiefe aufweist, also die flachste Stelle innerhalb des Buhnenfeldes darstellt. Auch hier kennzeichnet das 20 m Profil den Messpunkt für die hydrologischen Parameter.



Abb. 3.5.5 Stelle 3, Tiefenverteilung bei Niederwasser. Stelle 3, (31. August, Wildungsmauer 111 m ü.A.). Roter Bereich = 40 cm Wassertiefe. Die Längenangaben der Wasseranschlagslinie folgen der Stromkilometrierung der Donau und sind daher der Fließrichtung entgegengesetzt.

Analog zu Abb. 3.5.4 stellt Abb. 3.5.5 eine zweidimensionale Darstellung der Strömungsverhältnisse des gesamten Buhnenfeldes dar. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind in cms<sup>-1</sup> angegeben und wurden auf 40% über Grund gemessen, um eine Annäherung an die mittleren Strömungsverhältnisse in der Wassersäule zu erhalten.

Wie bei den folgenden Wassergeschwindigkeitsmessungen wurde der Sensor normal zur Fließrichtung eingestellt. Deutlich zu erkennen ist die Kehrströmung im vorderen Teil der Buhne (dunkles Grau bis Schwarz). Bei Profil 20 (Messprofil für hydrologische Parameter) werden nur sehr geringe Strömungen bis –2 cms<sup>-1</sup> erreicht. Generell handelt es sich bei der gesamten Buhnenschotterfeld um ein strömungsberuhigtes Areal.



Abb. 3.5.5 Stelle 3, Strömungsverteilung bei Niederwasser. Die Längenangaben der Wasseranschlagslinie folgen der Stromkilometrierung der Donau und sind daher der Fließrichtung entgegengesetzt.

#### 3.6 STANDORT SCHÖNAU – SCHOTTERSTRUKTUR (STELLE 4)

Laut Literatur ist diese Stelle bezüglich der Substrat- und Strömungsverhältnisse reich differenziert und als <Schotterbank> bezeichnet. Überschwemmte Ufervegetation bei höheren Wasserständen schaffen vielfältige Mikrohabitate für Brutfische. Niedrige Wasserstände bedingen ruhige Buchten mit hohen und hoher Nahrungsdichte (Spindler, 1989). Temperaturen Bei mittleren Wasserstandsverhältnissen sind rund 56 m<sup>2</sup> von weniger als 40 cm Wasser bedeckt. Das Sediment an diesem Standort besteht geschätzt aus:

10% Sand, 10 % Steinen < 1 cm, 10% Steinen > 1 cm, 35% Steinen > 5 cm und 35% Steinen > 10 cm. Uferfern dominiert die Sandfraktion (Abb. 3.6.1 und 3.6.2, Tab. 3.7.1 und 3.7.2).



Abb. 3.6.1 Überblickskarte der Donau bei Schönau. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 4.



Abb. 3.6.2 Stelle 4, Schotterbank bei Schönau.

#### 3.7 TABELLARISCHE ZUSAMMENFASSUNG

Stelle	Wasserstand (WM) [m ü. A.]	Profil - Neigung	Entfernung Von SFR [m]	Trübe [gl-1] TG AG	Wasser– geschwindig- keiten [cms-1]
1 Fischamend km 1909,2 re Ufer	277,0 ± 5,8	7,8°	129 – 232 184 ± 24	0,05 <i>0,04</i>	-3 - 0 -1,9 ± 0,7
2 Orth km 1901,0 li Ufer	$\textbf{273,6} \pm \textbf{3,2}$	3,5°	155 – 250 209 ± 30	0,10 <i>0,09</i>	-7 - 7 -0,7 ± 2,0
3 Stopfenreuth km 1887,2 li Ufer	$268,0\pm5,8$	4,5°	140 - 218 179 ± 19	0,04 <i>0,03</i>	-7 – 4 -1,7 ± 2,5
4 Schönau km 1911,6 li Ufer	276,6 ± 11,5	5,6°	158 – 234 193 ± 25	0,11 <i>0,10</i>	-8 - 6 -1,8 ± 2,8

Tab. 3.7.1 Allgemeine Stellencharakterisierung I (*kursiv:* Aschegewicht der Referenzproben)

Tab. 3.7.2 Allgemeine	Stellencharakterisierung	II (kursiv:	Stellen aus Sp	pindler, 1989)
-----------------------	--------------------------	-------------	----------------	----------------

Stelle	Sediment	Fläche [m2] Geeignet f. 0+Fische	<i>(nach)</i> Spindler	Eignung für Brutfische nach Spindler
1 Fischamend km 1909,2 Re Ufer	Schlamm und Schotter	175	Littorale Bucht	Divers, Rheophile Arten dominieren
2 Orth Km 1901 li Ufer	Schlamm und Schotter	390	Littorale Bucht	Diverse Fischfauna mit rheophilen und strömungsindifferenten Arten
3 Stopfenreuth km 1887,2 li Ufer	Schotter und Feinsediment	560	Buhne- Buhnen- Schotterfeld	Mittlere Diversität, eher dom. von strömungsindifferenten Arten
4 Schönau km 1911,6 li Ufer	Schotter und Sand	56	Schotterbank	Divers, Rheophile Arten dominieren

Stelle	Wasserstand (WM) [m ü. A.]	Profil - Neigung	Entfernung Von SFR [m]	Trübe [gl-1] TG AG	Wasser – geschwindig - keiten [cms-1]
3	$268,0 \pm 5,8$	4,5°	140 - 218	0,04	-7 – 4
Juni			179 ± 19	0,03	-1,7 ± 2,5
3	111	2,5°	128 - 160		-4 - 5
August			138 ± 12		0,1 ± 2,4

Tab. 3.7.3CharakterisierungStelle3anzweiverschiedenenTerminenI(kursiv:Aschegewicht der Referenzproben)

Tab. 3.7.4 Charakterisierung Stelle 3 an zwei verschiedenen Terminen II (*kursiv:* Stellen aus Spindler, 1989)

Stelle	Sediment	Fläche [m2] Geeignet f. 0+Fische	<i>(nach</i> ) Spindler	Eignung für Brutfische nach Spindler
3 Juni	Schotter und Feinsediment	560	Buhne- Buhnen- Schotterfeld	Mittlere Diversität, eher dom. von strömungsindifferenten Arten
3 August	Schotter und Feinsediment	1260	Buhne- Buhnen- Schotterfeld	Mittlere Diversität, eher dom. von strömungsindifferenten Arten Divers, Rheophile Arten dominieren

## 4 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

#### 4.1 SCHWEBSTOFFE

Die im unbeeinflussten Zustand gemessenen Schwebstoffgehalte (Referenzwerte) Schwebstoffgehalts liegen im langjährigen Mittel des der Donau (Nachtnebel et al., 1998) (Tab. 3.1.1). Allerdings sind nach Nachtnebel et al. (1998) bei Einzelmessungen hohe Abweichungen von 30% nach oben und unten möglich. Der Mittelwert des Schwebstoffgehaltes an den Standorten im beeinflussten Zustand liegt im Bereich jenes Schwebstoffgehaltes der Donau, der während eines Hochwasserereignisses erreicht wird. Der in dieser Studie gemessene Maximalwert von 8,45 gl<sup>-1</sup> ist nahezu doppelt so hoch wie der Maximalwert aus den Jahren 1982-1995 mit 4,44 gl<sup>-1</sup> (Tab. 3.1.1). Diese extrem hohen Schwebstoffgehalte wurden bei Doppel- oder Dreifachstörungen (mehrere Schiffe knapp nacheinander) beobachtet (z. B.: 8,45 gl<sup>-1</sup> bei 2 Schiffen; 7,38 gl<sup>-1</sup> bei 3 Schiffen, aber: 6,98 gl<sup>-1</sup> bei einem Frachter oder 4,27 gl<sup>-1</sup> bei einem Ausflugsschiff).

Tab. 3.1.1 Mittelwert (Mittel), Standardabweichung (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max) der Schwebstoffe für Schiffe und Referenzwerte im Vergleich mit Literaturdaten aus Nachtnebel *et al* (1998).

	TG Schiff	Referenz	Altenwörth°		Maximaler Schwebstoffgehalt (Bad Deutsch-Altenburg)°				
	[gl <sup>-1</sup> ]	[gl⁻¹]	1982-1995	HW 1981	HW 1985	HW 1991	Welle 4, 1996	Welle 5, 1997	
Mittel	1,26	0,07	0,03	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
SD	1,81	0,03	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	
Max	8,45	0,10	1,30	0,90	1,67	1,84	0,79	1,02	
Min	0,03	0,03	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	k. A.	

°Angaben: aus Nachtnebel et al., 1998

Der statistische Vergleich aller Stellen im Bezug auf Trübe (Wilcoxon-Test) ergab keine signifikanten Unterschiede im unbeeinflussten Zustand zwischen den Stellen. Beim Vergleich aller Stellen mit allen Schiffen unterscheidet sich aber der unbeeinflusste Zustand signifikant (p<0,05) vom beeinflussten Zustand (Tab. 3.1.2).

Stelle	Referenz [gl	<sup>-1</sup> ] Schiff [gl <sup>-1</sup> ]	für jedes Schiff (n=64)
1	0,05	1,67 ± 2,58	**
2	0,10	$2,13 \pm 2,40$	**
3	0,04	$0,40 \pm 0,44$	**
4	0,11	2,61 ± 2,72	**

Tab. 3.1.2 Vergleich zwischen unbeeinflussten (Referenz) und beeinflussten (Schiff) Zuständen pro Stelle; \*\*= Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von 5%.

Der Schwebstoffgehalt an den 4 Standorten erhöhte sich im Vergleich zu den jeweiligen mittleren Schwebstoffwerten durch den Einfluss der Schiffe um das 11-(Standort 3) bis 34-fache (Standort 1) (Tab. 3.1.3).

Stelle	Referenz [gl <sup>-1</sup> ]	Schiff [gl <sup>-1</sup> ]	Faktor der Erhöhung
1	0,05	1,67	34
2	0,10	2,13	22
3	0,04	0,40	11
4	0,11	2,61	24

Tab. 3.1.3 mittlere Trübewerte und prozentuelle Erhöhung bei einer Störung (Schiff)

Der zeitliche Verlauf in der Änderung der Schwebstoffkonzentration wurde mit einem Turbidity Messgerät beispielhaft im 30 Sekunden Abstand für zwei stromab fahrende Schiffe (Kajütboot und Frachter) durchgeführt (Abb. 3.1.1).





Dabei erreichte die Beeinflussung durch das Kajütboot nach zweieinhalb Minuten eine maximale Schwebstoffkonzentration von 560 NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Dies entspricht einer Erhöhung des Ausgangswertes um den Faktor 56. Dreieinhalb Minuten nach der Maximalkonzentration war der Schwebstoffgehalt im Vergleich zum Ausgangswert nur mehr um das 10-fache erhöht. Der Ausgangswert wurde erst wieder nach 38 Minuten und 30 Sekunden erreicht.

Die Beeinflussung durch das Frachtschiff erreichte nach drei Minuten eine maximale Schwebstoffkonzentration von 283 NTU. Das entspricht einer Erhöhung des Ausgangswertes um den Faktor 28. Drei Minuten nach der Maximalkonzentration war der Schwebstoffgehalt im Vergleich zum Ausgangswert nur mehr um das 10fache erhöht. Der Ausgangswert wurde erst wieder nach 24 Minuten erreicht.

Der Einfluss von unterschiedlichen Schwebstoffkonzentrationen auf Fische wurde vor allem an Salmoniden in Nordamerika untersucht. Mehrere Autoren konnten eine Verringerung der reaktiven Distanz durch erhöhte Schwebstoffkonzentrationen feststellen. Die reaktive Distanz ist jene Distanz, ab der ein Fisch ein Beuteobjekt erkennt und es attackiert. Barrett et al. (1992) stellten bei der Regenbogenforelle eine Verringerung der reaktiven Distanz um die Hälfte fest, und zwar bei einer Erhöhung der Schwebstoffkonzentration von 5 auf 30 NTU. Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Berg und Northcote (1985) bei Oncorhynchus kisutch (Silberlachs). Sie konnten bei einer Erhöhung des Schwebstoffgehaltes von 0 auf 20 NTU eine Verringerung der reaktiven Distanz um 52% und bei einer Erhöhung von 0 auf eine Verringerung der reaktiven Distanz um 30 NTU 62% feststellen. Benfield & Minello (1996) fanden, dass bei Fundulus grandis (Cyprinodontidae) die Verringerung der reaktiven Distanz bei erhöhten Schwebstoffkonzentrationen nicht von der Abnahme der Lichtintensität, sondern von der Lichtstreuung an den Schwebstoffpartikeln abhängt. Sigler et al. (1984) konnten bei der Regenbogenforelle und dem Silberlachs eine Verringerung des Wachstums und Abwanderungstendenzen bei Konzentrationen ab 25 NTU feststellen. Im Gegensatz dazu, fanden Gregory und Northcote (1993) und Gradall and Swenson (1982), dass mittlere bis hohe (35-150 NTU) Schwebstoffkonzentrationen die Aktivität von juvenilen Oncorhynchus tshawytscha, adulten Salvelinus fontinalis und juvenilen Semotilus atromaculatus (Cyprinidae) erhöhen. Leider gibt es keine Untersuchungen über die Anpassung von einheimischen (autochthonen) Donaufischarten an

unterschiedliche Schwebstoffkonzentrationen. Da der Schwebstoffgehalt in großen Fließgewässern relativ hoch ist, ist anzunehmen, dass Flussfische Anpassungen an die herrschenden Schwebstoffverhältnisse entwickelt haben. Betrachtet man die saisonale Variabilität der Schwebstoffkonzentration, so zeigt sich, dass von Jänner bis Mai die Konzentration im Mittel unter 40 mgl<sup>-1</sup> bleibt und nur bei Sommerhochwässern zwischen Juni und August die Werte über 50 mgl<sup>-1</sup> steigen 1985 - 1991 aus: Nachtnebel *et al*. (1998)). Schwebstoff -(Datenreihe von konzentrationen, die unter natürlichen Verhältnissen nur bei Hochwässern erreicht werden (80 mgl<sup>-1</sup>) haben auf Jungfische einen negativen Einfluss (Spindler, 1989). Konzentrationen werden beinahe Solche durch jedes Schiff an den Untersuchungsstandorten erreicht oder überschritten. Generell können alle oben angeführten Studien negative Auswirkungen auf Jungfische durch hohe Schwebstoffkonzentrationen nachweisen.

Neben direkten Auswirkungen auf die Fische durch den Rückgang der reaktiven Distanz, hat ein erhöhter Schwebstoffgehalt auch einen indirekten Einfluss. Untersuchungen von Tittizer & Schleuter (1989) an mehreren intensiv befahrenen Wasserstraßen zeigten einen Rückgang der Fischnährtiere durch die mechanische Belastung um 35-54%.

Schwankungen Die starken. tageszeitlichen des Schwebstoffgehaltes in Schifffahrtskanälen und Wasserstrassen belegen den starken Einfluss der Schifffahrt auf die Aufwirbelung von Sedimenten. Die dadurch ausgelösten abrupten Milieuänderungen können sich sehr negativ auf Jungfische und Fischnärtiere (Invertebraten) auswirken. Die letale Schwebstoffkonzonzentration für Adultfische von 20.000 mgl<sup>-1</sup> (Murphy, 1995) wird zwar durch den Einfluss von Schiffen nicht erreicht, die viel empfindlicheren Fischlarven sind aber permanent Konzentrationen von bis zu 8.450 mgl<sup>-1</sup> ausgesetzt. Smart et al. (1985) belegen Veränderung der Schwebstoff-konzentrationen durch die Schifffahrt am oberen Mississippi. Der schifffahrtsbedingte Anstieg von Schwebstoffen in der Schifffahrtsrinne beträgt zwischen 3,4% und 15%, in den angebundenen Seitenarmen wurden sogar bis 21.7% gemessen. Die Intensität der Aufwirbelung ist von der Zusammensetzung der Sedimente, der Position, der Fahrtrichtung und der Geschwindigkeit des Schiffes, sowie der Flussmorphologie und der Zahl nacheinander folgenden Durchfahrten abhängig (Obridlik & Schneider).

29

Die von den Propellern großer Schiffe verursachten Turbulenzen, führen sogar zu einer Umlagerung von Sand und Kies. Eine Untersuchung von Ziegler (1993) zeigt eine höhere Artenzahl und Besiedlungsdichte des Zoobenthos der Rheinsohle in den zwar durchflossenen aber nicht von Schiffen befahrenen Seitenarmen gegenüber der Zoobenthosfauna der Bundeswasserstrasse.

Feine Sedimente, die sich vor allem in den strömungsberuhigten Uferbereichen großer Flüsse ablagern, können negative, mechanische Auswirkungen auf die Atmungsorgane von Wasserinsekten haben (Ward, 1992). Ähnliche Auswirkungen sind auch für Fischlarven anzunehmen, die sehr oft kleiner und mit noch feineren Kiemenepithelien ausgestattet sind, als die oben angeführten Wasserinsekten.

Die Ablagerungen von Feinsedimenten auf Kies- und Schotterbänken verursachen einen Verlust von Laichplätzen lithophiler Fischarten. Eine hohe Korrelation zwischen Artenreichtum der Fischbrut und dem Einfluss von Feinsedimenten und Strömungsgeschwindigkeiten ist bekannt (Nielsen *et al.*, 1986). Bei den sehr sauerstoffbedürftigen Eiern rhithraler und rheophiler Arten, die auf oder in den Schotterkörper abgelaicht werden, ist durch Sedimentation der Gasaustausch erschwert bzw. unterbunden. Dies führt zum Verpilzen und Absterben der Eier (Bless & Roberts, 1985; Zauner & Schiemer, 1994). Da es sich um Eier mit sehr langen Entwicklungszeiten handelt (je nach Art: 2-4 Wochen), könnten auch durch Sedimentation nicht direkt betroffene Eier und die Eier späterer Laichschübe, durch sehr infektiösen Pilze angesteckt werden.

Der Energiegewinn von Fischen ist generell durch die Erhöhung der Trübe reduziert (Sigler *et al.*, 1984). Benfield & Minello (1996) konnten zeigen, dass durch die Lichtbrechung an den Sedimentteilchen die Anzahl von Fehlversuchen bei der Nahrungsaufnahme signifikant ansteigt. Wenn man bedenkt, dass die Schwebstofferhöhung durch ein Schiff einige Minuten andauert und rund 40 Schiffe pro Tag bzw. Nacht fahren, ist allein daraus eine massive Störung der Fischlarven abzuleiten.

Hohe Schwebstoffkonzentrationenen haben negative Auswirkungen auf Fische. Die reaktiven Distanzen der Jungfische werden verringert und die Zahl der Fischnärtiere geht zurück.

#### 4.2 WELLENGESCHWINDIGKEIT (STRÖMUNG)

Als Beispiel für schifffahrtsbedingte Wellen zeigt Abbildung 4.2.1 ein typisches Strömungsmuster, das durch ein stromab fahrendes Tragflügelboot hervorgerufen wird. Besonders beachtenswert dabei ist die markante Variabilität im zeitlichen Verlauf, wobei die Messungen im zwei Sekunden Takt erfolgten. Die einleitenden Beispielgrafiken der zwei folgenden Kapitel (Sog und Hub) stellen die jeweiligen Messparameter anhand desselben Schiffes dar (Abb. 4.3.1 und Abb. 4.4.1).



Abb. 4.2.1 Wellenmuster, durch ein Tragflügelboot entstanden. rote Linien zeigen in (a) die kritischen MS-Bereiche für 15mm Nasen, in (b) für 56mm große Nasen (entnommen aus Flore & Keckeis, 1998). Grüne Linie gibt die Referenz wieder.

Die grüne Linie gibt die Strömungswerte am Standort im unbeeinflussten Zustand an, die schwarze Linie, die durch das Tragflügelboot bedingten Strömungen. Die roten Grenzen indizieren die kritischen Strömungsgrenzwerte (maximal sustainable water velocity, MS) für 15 mm (a) bzw. 56 mm (b) große Nasen (*Chondrostoma nasus*) nach Flore & Keckeis (1998). Sie werden hochfrequent, also mehrmals in der Minute, überschritten. Diese oftmalige Überschreitung des Grenzwertes hat letale Folgen für die Jungfische, da die Fische ihre Position nicht mehr halten können. Innerhalb dieser Grenzwerte liegen die präferierten Aufenthaltsbereiche bezüglich der herrschenden Strömungsverhältnisse. Die durch die Schifffahrt verursachten heterogenen Strömungsbedingungen stellen eine unüberwindbare Anforderung an junge Fische dar, Schädigungen und eine Erhöhung der Mortalitätsrate sind zu erwarten.

Die Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten aller Stellen im unbeeinflussten Zustand (Referenzströmungen) ist in Abbildung 4.2.2 dargestellt. Über 87% aller Strömungswerte liegen unter 5 cms<sup>-1</sup>. Alle Strömungswerte liegen innerhalb des für Fischlarven günstigen Bereichs von weniger als 9 cms<sup>-1</sup> (rote Linien).



Abb. 4.2.2 Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten aller Stellen im unbeeinflussten Zustand und MS-Grenzen für 15mm Nasen (rote Linien).

Die Häufigkeitsklassenverteilung der Strömungen, die durch Schiffe verursacht werden, weist etwa 80 % aller gemessenen Werte im noch für Jungfische günstigem Bereich aus. Dieses Bild ergibt sich aus methodischen Gründen durch die punktuelle Messung im zwei Sekundentakt eines Wellenereignisses. Die erwiesen hohe zeitliche Variabilität eines Wellenereignisses kommt in dieser Darstellung nicht zur Geltung. Die verbleibenden 20% der Messwerte decken einen breiten Bereich an Höchstgeschwindigkeiten ab (bis zu 100 cms<sup>-1</sup>), die unter natürlichen Gegebenheiten in einem Jungfischhabitat nie erreicht werden. Jede Überschreitung, also jedes Einzelereignis kann für Jungfische letal sein (Abb. 4.2.3).



Abb. 4.2.3 Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten aller Stellen im beeinflussten Zustand (rot).

Der zeitliche Ablauf dieses Musters wird durch Aufsummierung (Kumulation) der einzelnen Strömungsamplituden beschrieben. Die Steilheit der Kurve ist dabei ein Maß für die Stärke der Veränderung der Strömung in der Zeit. Die Länge der Kurve ist ein Maß für die Dauer der Beeinflussung. Die beiden roten Graphen stellen jeweils das Schiff einer Klasse mit der stärksten bzw. mit der geringsten Beeinflussung dar (Abb. 4.2.4). Dazwischen liegt die Bandbreite der Beeinflussung der jeweiligen Schiffsklasse.



Abb. 4.2.4 Summenkurven der Strömungsamplituden für jede Schiffsklasse bei Mittelwasser (linke Spalte) und Niederwasser (rechte Spalte). Die blaue Kurve repräsentiert das Kajütboot, die roten Kurven das Minimum bzw. Maximum der jeweiligen Schiffsklasse. Die rote Linien verbinden die jeweiligen Extreme zur Bandbreite der dargestellten Schiffsklasse.

Diese Auswertungen wurden für folgende Schiffsklassen durchgeführt: Ausflugsschiffe (a), Frachter (b), Sportboote (c), Tragflügelboote (d) und Zillen (e) (Abb. 4.2.4 a-e: Beeinflussungsverlauf bei Mittelwasser und bei Niederwasser). Auf Grund der Anstiege und der Länge der Kurven folgt, dass Ausflugsschiffe (Abb. 4.2.4 a) über einen langen Zeitraum geringere Strömungsänderungen Frachter (Abb. 4.2.4 b), deren Beeinflussung durch hohe verursachen als Amplitudenschwankungen innerhalb kurzer Zeit charakterisiert ist. Im Gegensatz dazu beeinflussen Sportboote (Abb. 4.2.4 c) länger und weniger stark, wobei das Kajütboot (blaue Linie) sich durch auffallend hohe Strömungen sowie lange Dauer auszeichnet und daher im Weiteren gesondert behandelt wird. Die Belastung durch Tragflügelboote (Abb. 4.2.4 d) ist etwas geringer. Zuletzt folgt die Klasse der Zillen (Abb. 4.2.4 e), die von allen beobachteten Fahrzeugen die geringste Störung hervorrufen. Bei Niederwasser zeigt sich ein ähnliches Bild (Abb. 4.2.4 a-e). Allerdings ist der Störungseinfluss bei Niederwasser signifikant niedriger als bei Mittelwasser. Alle untersuchten Schiffsklassen zeigen eine Anstiegsverringerung auf rund ein Viertel sowie eine Verkürzung der beeinflussten Zeit. Dieses unerwartete Bild kann sich durch die verschiedenen Wasserständen veränderte Profildimension ergeben: der Uferbereich liegt bei Niederwasser näher am Schifffahrtskanal. Einerseits kann die Wellenenergie durch den steileren Abfall in die tiefe Strömungsrinne abgebaut werden, andererseits kann sich die Welle nicht mehr über einen ausgedehnten flachen Bereich ausbreiten. Weiters könnte der steilere Strömungsgradient zwischen flachem Ufer und Schiffahrtsrinne die Wellenwirkung vermindern (Skizze 4.2.1).



Skizze 4.2.1 Schematisches Donau - Querprofil mit flachem und steilem Ufer. Hellblaue Linie: Wasserstand bei Mittelwasser, dunkelblaue Linie: Wasserstand bei Niederwasser.

Mittels eines Anstiegsvergleichs zwischen Schiffskurven und Referenzkurve wurden die minimalen und maximalen Beeinflussungsdauern berechnet (Tab. 4.2.1 und Abb. 4.2.7).

Tab. 4.2.1 Minimale und maximale Beeinflussungsdauer, ermittelte Steigung k und Störungsintensitätsindex  $\omega$  durch Strömungsveränderungen für die einzelnen Schiffsklassen bei Mittel- und bei Niederwassersituation.

		Beeinflu dauer	ssungs- [min]	Steigu	ung k	Störungsir inde	ntensitäts- ex ω
Schiffsklasse		MW	NW	MW	NW	MW	NW
Ausflugsschiff	Min	19	7	2,3	0,8	43	5
	Max	33	13	2,9	2,2	96	29
Frachter	Min	5	4	2,1	0,7	11	3
	Max	9	6	5,5	1,8	52	11
Kajütboot		18		5,0		91	
Sportboot	Min	8		1,7		13	
	Max	17		3,0		51	
Tragflügel	Min	8		2,9		22	
	Max	13	3	3,5	2,6	44	8
Zillen	Min	9		1,9		16	
	Max	17	4	2,0	1,5	34	6
Referenz				1,0	0,4	1	0

Die Beeinflussungsdauer liegt bei Niederwasser durchwegs unter derjenigen der Mittelwassersituation (Abb. 4.2.4 und Tab. 4.2.1). Ausflugsschiffe erreichen die höchsten Werte mit bis zu 33 Minuten, die geringsten Werte ergibt die Klasse der Frachtschiffe. Ein integriertes Maß (Störungsintensitätsindex) für die Stärke und die Dauer der Störung, die verschiedenen Schiffstypen verursachen, erhält man, indem der Anstieg der kumulierten Amplituden mit der Beeinflussungsdauer multipliziert wird. Verglichen mit den Referenzwerten (Ruheströmung) ergibt sich daraus eine klare Reihung der Schiffsklassen nach ihrem Einfluss auf die Strömungsverhältnisse. Der Unterschied zwischen Ausflugsschiffen und Kajütboot gegenüber den restlichen Schiffsklassen wird evident. Wiederum kann deutlich zwischen den zwei verschieden Wasserständen unterscheiden werden (Tab. 4.2.1).

Um die in dieser Studie gemessenen hydrologischen Parameter in einen für Jungfische relevanten Zusammenhang zu stellen, wurde auf detaillierte Labordaten von *Chondrostoma nasus* (aus Flore & Keckeis, 1998), *Rutilus rutilus und Leuciscus leuciscus* (aus Mann & Bass, 1997) zurückgegriffen. Flore & Keckeis definieren klare Grenzwerte für Jungfische verschiedener Größe für drei physiologisch relevante Bereiche (Abb. 4.2.5):

- Null Benefit Water Velocity (NB) gibt jene Strömung an, bei der kein Energiegewinn mehr stattfinden kann. Der Aufwand jeglicher Aktivität der Fische entspricht der gewonnen Energie aus der Nahrung und so ist kein positives Wachstum mehr möglich.
- Null Consumption Water Velocity (NC) beschreibt diejenige Strömung, bei der die Fische der jeweiligen Größenklasse keine Nahrung mehr aufnehmen und sich gerade noch an ihrer Position halten können.
- 3. Maximal Sustainable Water Velocity (MS) ist jene Strömung, bei der sich die Fische nicht mehr an ihrer Position halten können und verdriftet werden.

Diese Grenzen liegen für kleine Fische sehr eng beieinander, werden im Laufe ihrer Entwicklung durch morphologische und physiologische Anpassungen jedoch weiter (Abb. 4.2.5).

Die unterschiedlichen kritischen Strömungsgeschwindigkeiten wurden aus Laborversuchen mit einer Strömungsrinne gewonnen. Die Nasenlarven wurden verschieden starken laminaren Strömungen ausgesetzt, die Position in der Wassersäule und ihre Aktivitäten aufgezeichnet (Abb. 4.2.6).



Abb 4.2.5 Kritische Strömungsgeschwindigkeiten für *C. nasus* (verändert von Flore & Keckeis, 1998 und Flore *et al.*, 2001).



Abb. 4.2.6 Aufbau der Strömungsrinne für Versuche an C. nasus.

Tab. 4.2.2 Kritische Strömungswerte für ausgewählte Fischarten (rheophil = Nase; euryök = Aitel, Rotauge). *Kursiv:* Beeinflussungsdauer von Strömungsänderungen für die verschiedenen Schiffsklassen.

	Grenzwert Anteil der Messwerte über den Grenzwert Grenzwertgeschwindigkeiten [%]								
Art	Länge [mm]	Geschwin digkeit [cms <sup>-1</sup> ]	Bezeich- nung	Ausflugs schiff 19-33 min	Frachter 13 min	Sport boot 8-18 min	Trag- flügel 8-13 min	9-17 <i>min</i>	Refer enz
C. nasus C. nasus C. nasus	15 20 25	7 14 15	NB NB NB	14 5 4	25 7 6	26 7 6	36 12 11	14 2 1	2 0 0
C. nasus C. nasus C. nasus	15 20 25	9 17 17	NC NC NC	9 4 4	17 4 4	16 4 4	10 8 8	5 1 1	0 0 0
C. nasus C. nasus C. nasus C. nasus C. nasus C. nasus	15 20 25 36 46 56	9 17 18 26 26 31	MS MS MS MS MS	9 4 2 2 1	17 4 1 1 1	16 4 1 1 1	10 8 7 3 3 2	5 1 0 0 0	0 0 0 0 0
L. leuciscus R. rutilus	15 <u>15</u> t für C	16 <u>16</u>	CV <sub>50</sub> CV <sub>50</sub>	4 4	5 5	5 5	10 10	1 1	0 0
< 15 mm Kö	rperläng	je [min]		5	3	5	5	2	0

Während einer Störung durch Schiffe liegen zwischen 14% (Ausflugsschiffe und Zillen) und 36% (Tragflügelboote) der Strömungswerte am Ufer über der NB-Grenze für 15mm große Nasenlarven, beeinflussen also die Fische negativ in ihrer Entwicklung. 5% (Zillen) bis 17% (Frachter) der Messwerte überschreiten sogar die MS-Grenze was bedeutet, dass 15mm Nasen bei einer solchen Welle passiv verdriftet werden (Tab. 4.2.2).

Im Durchschnitt bedingt dies pro Schiff eine kritische Zeit von 2 Minuten bei Zillen, 3 Minuten bei Frachtern oder sogar 5 Minuten bei Ausflugsschiffen, Sportbooten und Tragflügelbooten, die sich auf Nasenlarven negativ auswirken. Die Referenzströmungen und die daraus resultierenden kritischen Zeiten liegen fast ausschließlich im Optimalbereich (Tab. 4.2.2 und Abb. 4.2.7).



Abb. 4.2.5 Maximale Beeinflussungsdauer für jede Schiffsklasse bei einem Störungsereignis.

Aus einer Arbeit von Lamouroux *et al.* (1999) geht hervor, dass der Präferenzbereich für Larven und Juvenile typischer Flussfischarten meist unter 5 cms<sup>-1</sup> liegt, der in dieser Studie nur im unbeeinflussten Zustand gegeben ist (Tab. 4.2.3). Aus einer anderen Studie geht hervor, dass geringe Wassergeschwindigkeiten der Haupteinflussparameter für das Vorkommen und die Verteilung von Jungfischen sind, wobei 70% der Individuen bei Strömungen zwischen 1 und 10 cms<sup>-1</sup> gefangen werden konnten (Keckeis *et al.*, 1997).

Art	Länge [cm]	Präferierte Strömungen [cms <sup>-1</sup> ] nach Lamouroux et <i>al.</i> , 1999
A. alburnus	< 8	< 5
A. bjoerkna	< 9	< 5
B. barbus	< 9	20-40
C. nasus	< 8	< 5
L. cephalus	< 8	< 5
L. leuciscus	< 8,5	< 5
R. rutilus	< 6	< 5

0
---

Statistische Testverfahren (ANOVA) konnten die oben bereits ersichtlichen Ergebnisse sowohl für die Mittel- als auch für die Niederwassersituation bestätigen. Störungsereignisse durch Schiffe unterscheiden sich signifikant (p < 0.05) vom unbeeinflussten Zustand. Zusätzlich konnten auch signifikante (p < 0.05) Unterschiede zwischen den einzelnen Schiffklassen nachgewiesen werden (Tab. 4.2.4).

	Mittelwasser							
	Strömungsamplituden [cms <sup>-1</sup> ] [min]							
Schiffsklasse Min Max Schwankungsbereic			Schwankungsbereich	Min	Max	Anzahl		
Referenz	0	8	1,877 ± 1,63			422		
Ausflugsschiff	0	170	10,81 ± 11,61	19	33	2279		
Frachter	0	141	5,97 ± 6,63	5	9	7532		
Kajütboot	0	136	16,08 ± 13,62	18 37		374		
Sportboote	0	47	$5,07 \pm 5,02$	8 17		1939		
Tragflügel	0	124	13,17 ± 12,07	8	13	1941		
Zillen	0	33	5,07 ± 4,71	9	17	1022		

Tab. 4.2.4 Vergleich der Schiffsklassen in den untersuchten Parametern der Strömung in Mittel- und in Niederwassersituation.

	Niederwasser							
	Strömungsamplituden [cms <sup>-1</sup> ] Beeinflussungsdauer [min]							
Schiffsklasse	Min	Max	Schwankungsbereich	Min	Max	Anzahl		
Referenz	0	0 8	0,81 ± 1,00			139		
Ausflugsschiff	0	36	$3,09 \pm 3,45$	7	13	646		
Frachter	0	67	$2,30 \pm 3,31$	4	6	567		
Kajütbooti								
Sportboote								
Tragflügel	0	44	3,15 ± 7,09	3		170		
Zillen	0	22	$1.99 \pm 3.29$	4		194		

Unterschiede zwischen den einzelnen Stellen ergaben sich nur hinsichtlich der Referenzströmungen (p<0,001) (Tab. 4.2.5). Es konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen Buchten und Schotterstrukturen während einer Störung nachgewiesen werden. Geschützte Buchten werden also hinsichtlich der Strömungsverhältnisse genauso stark durch Schiffe gestört wie exponierte Schotterbänke.

Tab. 4.2.5 Vergleich zwischen den Probenstellen in den untersuchten Parametern der Strömung in Mittel- und in Niederwassersituation.

	Mittelwasser Strömungsamplituden [cms <sup>-1</sup> ]							
	Referenz	Minimum	Maximum	Schwankungsbereich	Anzahl			
Stelle 1	2 ± 1,95	0	136	10,67 ± 9,93	3585			
Stelle 2	1,32 ± 1,30	0	78	$5,87 \pm 5,84$	3412			
Stelle 3	2 ± 1,61	0	127	$7,47 \pm 7,54$	4005			
Stelle 4	2,19 ± 1,68	0	141	$7,03 \pm 8,68$	4076			
			Niederw	asser				
		Strö	mungsampl	ituden [cms⁻¹]				
	Referenz	Schwankungsbereich	Anzahl					
Stelle 1								
Stelle 2								
Stelle 3	0,81 ± 0,99	0	67	$2,82 \pm 4,32$	1577			

---

---

---

Stelle 4

---

---

Die Beeinflussungsdauer des schifffahrtsbedingten Wellenschlages auf die natürlichen hydrologischen Verhältnisse flacher Buchthabitate am Mississippi wird von Nielsen *et al.* (1986) mit 2-4 Minuten angegeben. In dieser Zeit können mechanische Kräfte auftreten, in denen Fischlarven nicht mehr aktiv schwimmen können. Unter solchen Bedingungen werden die Larven entweder aus ihren Buchten ausgespült, oder schlimmstenfalls auf das Land geschleudert. Jedenfalls bedeutet die abrupte Erhöhung der Strömung einen großen physiologischen Stress und somit Energieverlust für die Fischlarven (Nielsen *et al.*, 1986). In der vorliegenden Studie konnte eine wesentlich längere Beeinflussungsdauer von bis zu einer halben Stunde nachgewiesen werden.

Untersuchungen von Tittizer & Schleuter (1989) an mehreren Wasserstraßen haben ergeben, dass die meisten Fischnährtiere durch die mechanische Belastung des Wellenschlags massiv beeinträchtigt sind. Die Artenzahl sank auf 46%. Die Besiedlungsdichte auf 65%. Diese Aussage lässt vermuten, dass den Jungfischen in durch Wellenschlag besonders beeinflussten Bereichen nur ein reduziertes Nahrungsangebot zur Verfügung steht.

Neben den Einflüssen der Trübe (unzureichende Sauerstoffversorgung) ist auch die Ausspülung von Fischeiern aus strömungsgeschützten Bereichen belegt (Lusk, S., mündliche Mitteilung). Strömungsexponierte Laichstellen rheophiler Arten sind wahrscheinlich ähnlich davon betroffen, da zwischen den Stellen keine Unterschiede in der Strömungsveränderung während einer Störung durch die Schifffahrt festgestellt werden konnte.

Zur Diskussion steht auch eine Veränderung das Temperaturregimes durch den Einfluss des Wellenschlags. Lebensräume von Jungfischen sind durchwegs flache Areale, in denen sich die Wassertemperatur in den Frühjahrs- und Sommermonaten im Bezug auf den Hauptstrom signifikant erhöht. Dies ist in den ersten Entwicklungsmonaten naturgemäß von großer Bedeutung. da die Wachstumsbedingungen in wärmeren Wasser besser sind. Es kann davon ausgegangen werden. dass die permanente Durchmischung durch die schifffahrtsbedingten Wellen die Wassertemperaturen in solchen Habitaten geringer halten, als dies bei einem ungestörten Lebensraum der Fall wäre. Neben dieser Verschlechterung der Wachstumsbedingungen, stellen Kaufmann & Wieser (1991) sogar eine Erhöhung der kritischen Schwimmgeschwindigkeiten von Chalcalburnus chalcoides (2-100mg Körpermasse) bei erhöhter Wassertemperatur fest. Dies bedeutet, dass niedrigere Wassertemperaturen Jungfische sowohl langsamer wachsen lassen als auch ihre kritischen Schwimmgeschwindigkeiten herabsetzten, sie also bei geringeren Strömungsgeschwindigkeiten ausgeschwemmt werden.

Die Schiffahrt verursacht variable und erhöhte Strömungen in potentiellen Jungfischlebensräumen. Dies resultiert in der Überschreitung von physiologischen Grenzen, die das Wachstum und die Nahrungsaufnahme einschränken oder sogar lethale Folgen haben.

#### 4.3 SOG UND SCHWALL

Durch die Schiffe wird also eine horizontale Wasserbewegung am Ufer initiiert, die sich in Sog und Schwall auftrennen lässt. Der Sog verursacht die Absenkung des Wasserspiegels, der folgende Schwall bildet Wellen. Diese fortwährende mechanische Beanspruchung durch die Schifffahrt ist im Bereich der Ufer am größten (Rütten, 1994). Ein typisches Beispiel für die Sog- und Schwallwirkung eines Schiffes (schwarze Linie) zeigt Abb. 4.3.1.



Abb. 4.3.1 Sog- und Schwallwirkung des Tragflügelbootes. Grüne Linie indiziert den Referenzzustand. Die schwarzen Dreiecke repräsentieren die Masspunkte in einem viertel Sekunden Intervall, die gepunktete Kurve sellt eine mögliche Interpolation zwischen den Messpunkten dar.

Dieses Tragflügelboot lenkte die Wasseranschlagslinie bis über 120 cm zum Ufer hin aus und zeigt im Gegensatz zu den Referenzwerten im unbeeinflussten Zustand (grüne Linie) hohe Variabilität über die dargestellte Zeit. Der Sog stellt die Strecke in Zentimeter dar, die durch die Saugwirkung des Schiffes entsteht, das ist die Distanz, die die Uferanschlagslinie Richtung Strommitte versetzt. Der Schwall ist die Gegenbewegung, angeben in Zentimeter. Dabei wird die Uferanschlagslinie durch eine Druckwirkung in Richtung Land versetzt (Abb. 4.3.1). Das verheerendste Beispiel für Sog- und Schwallwirkung eines Schiffes, das während der Untersuchung beobachtet wurde, war ein zu Berg fahrendes Ausflugsschiff (beobachtet an der Stelle 2, Orth an der Donau, am 26. Juni 2001 um 13 Uhr). Dieses Schiff verursachte eine maximale Auslenkung (maximale Amplitude von Sog und Schwall) von über 5,1 m, einen Habitatverlust von 146,5 m<sup>2</sup> auf eine Länge von 60 m und eine maximale Flächenveränderung von 293 m<sup>2</sup>. Ein Maximum von 14,9 cm Wassersäule fiel trocken (Abb. 4.3.2).



Abb. 4.3.2 Skizze eines Sog- und Schwallmusters von einem Ausflugsschiff.

Analog zum Strömungsteil sind in Abb. 4.3.3 die Häufigkeitsverteilung der Sog- und Druckwerte aller Stellen im unbeeinflussten Zustand (Referenz) bzw. im durch Schiffe beeinflussten Zustand dargestellt.

Die Schwankungsbreite der Uferlinienauslenkung in Ruhe liegt zwischen -3 und 2 cm, und ist somit sehr niedrig. Schiffe verursachen jedoch eine maximale Auslenkung der Uferlinie zwischen -250 und 250 cm. Das entspricht einer Erhöhung um den Faktor 100 von 5 cm Auslenkung der Referenz auf 500 cm Auslenkung bei einem Störereignis. Nur 13% der Messwerte bewegen sich innerhalb der Referenzwerte, 87% liegen außerhalb des natürlichen Bereiches (Abb. 4.3.3).



Abb. 4.3.4 Rote Balken: Frequenz der Amplituden im beeinflussten Zustand, grünes Rechteck: angedeuteder Bereich der Referenz Sog- und Schwallwirkung zwischen – 3 und +2 cm.

Der zeitliche Ablauf anhand der kumulierten Sog- und Druckamplituden der einzelnen Schiffsklassen wird in Abbildung 4.3.4 für die beiden untersuchten Wasserstandssituationen dargestellt. Die Interpretation der Graphen verhält sich analog zu jener im Strömungsteil. Die Steigung ist ein Maß für die Stärke der Veränderung der Uferanschlagslinie in der Zeit. Die Länge der Kurve ist ein Maß für die Dauer der Beeinflussung durch Sog und Schwall. Die beiden roten Graphen stellen jeweils das Schiff einer Klasse mit der stärksten bzw. mit der geringsten Beeinflussung dar. Innerhalb dieser Bandbreite liegen alle anderen Schiffe der jeweiligen Klasse. Diese Auswertungen wurde wiederum für folgende Schiffsklassen durchgeführt:

Ausflugsschiffe (a), Frachter (b), Sportboote (c), Tragflügelboote (d) und Zillen (e) (Abb. 4.3.4 a-e: Beeinflussungsverlauf bei Mittelwasser und Niederwasser).



Abb. 4.3.4 zeitliche Verlauf der Bandbreite der Beeinflussung der einzelnen Schiffsklassen: Ausflugsschiffe (a), Frachter (b), Sportboote (c), Tragflügelboote (d) und Zillen (e) bei Mittelwasser (linke Spalte) und bei Niederwasser (rechte Spalte). Die blaue Kurve repräsentiert das Kajütboot, die roten Kurven das Minimum bzw. Maximum der jeweiligen Schiffsklasse. Die rote Linien verbinden die jeweiligen Extreme zu einer Bandbreite.

Reiht man die verschiedenen Schiffstypen nach der Stärke der Beeinflussung, so zeigt sich, dass auch hier die Ausflugsschiffe die größte Störung bewirken, wobei die Stäke der Störung fast doppelt so hoch ist wie bei den Frachtern, die an zweiter Stelle liegen und lang anhaltende Störungen verursachen. An dritter Stelle liegen die Tragflügelboote, gefolgt von den Sportbooten. Unter den Sportbooten zeichnet sich wieder das, als blauer Graph dargestellte, Kajütboot durch besonders lange Störungsdauer aus. Die geringste Beeinflussung sowohl in der Stärke als auch in der Dauer zeigen die Zillen. Bei Niederwasser liegen die Werte wie schon bei den Untersuchungen zur Strömungen niedriger als bei Mittelwasser (Abb. 4.3.4:a-e). Die minimalen und maximalen Beeinflussungszeiten wurden aus einem

Anstiegsvergleich zwischen Schiffskurven und Referenzkurve berechnet (Tab. 4.3.1). Tab. 4.3.1 Minimale und maximale Beeinflussungsdauer, ermittelte Steigung k und Störungsintensitätsindex  $\omega$  durch Sog- und Schwallwirkung für die einzelnen Schiffsklassen bei Mittel- und bei Niederwassersituation.

		Beeinflussungs- dauer [min]		Steigung k		Störungs- intensitäts- index ω	
Schiffsklasse		MW	NW	MW	NW	MW	NW
Ausflugsschiff	Min	10	14	2,6	1,0	26	14
•	Max	20	14	5,5	1,6	110	22
Frachter	Min	15		1,7		26	
	Max	13		4,8		62	
Kajütboot		16		2,0		32	
Sportboot	Min	9		1,3		12	
-	Max	8		1,9		15	
Tragflügel	Min	4	4	5,6	1,4	22	6
0 0	Max	9	16	3,3	2,0	30	32
Zillen	Min	6		0,6		4	
	Max	9		0,9		8	
Referenz	_			0,1		0	

Dabei zeigt sich, dass Ausflugsschiffe die höchsten Werte erreichen (bis zu 20 Minuten). Dann folgt das Kajütboot mit 16 Minuten und die Frachter mit 15 Minuten Beeinflussungsdauer. Sportboote, Tragflügelboote und Zillen unterscheiden sich mit einer maximalen Einflussdauer von 9 Minuten nicht voneinander, trennen sich jedoch bei den minimalen Beeinflussungsdauern auf, wobei die Tragflügelboote die geringste minimale Dauer zu verzeichnen haben. Bei Niederwasser liegt die Beeinflussungsdauer der Tragflügelboote über derjenigen der Ausflugsschiffe. Der Störungsintensitätsindex kombiniert wieder die Stärke mit der Dauer der Beeinflussung für die verschiedenen Schiffsklassen. Bei mittleren Wasserständen stören Ausflugsschiffe das System nahezu doppelt so stark wie Frachter, mehr als drei mal so stark wie Kajütboote und Tragflügelboote, 9 mal mehr als Sportboote und bis zu 13 mal so stark wie Zillen (Tab. 4.3.1).

Aus der maximalen Sogwirkung der Schiffe, der Profilneigung und der Gesamtfläche des jeweiligen Standortes wurden maximale Habitatverluste von bis zu 38% näherungsweise errechnet. Dieser Mikrohabitatverlust steht für eine Verringerung der für Jungfische nutzbaren Fläche durch Trockenfallen (Tab. 4.3.2). Als nutzbare Fläche wurde die Uferzone bis zu einer Wassertiefe von 40 cm betrachtet. In diesem Bereich halten sich nach Winkler *et al.* (1998) 72% aller Jungfische auf.

Tab. 4.3.2 maximale Auslenkung, Habitatverlust und Flächenänderungen durch Störungen der einzelnen Schiffstypen.

Schiffstyp	Maximale Auslenkung [m]	Maximaler Habitatverlust	Maximale Flächenänderungen	Maximal trockengefallene Tiefe [cm]
Ausflugsschiffe	5,1	38%	76%	15
Frachter	4,0	30%	60%	12
Sportboote	1,5	29%	58%	10
Tragflügel	1,2	25%	50%	8
Zillen	0,6	10%	20%	4

Die maximale Flächenänderung in der Zeit errechnet sich aus der maximalen Amplitude der Sog- und Schwallwirkung und beträgt näherungsweise das Doppelte des Habitatsverlustes (Tab. 4.3.2). Ausflugsschiffe bewirken ein Habitatverlust von bis zu 38%. Frachter, Sportboote und Tragflügelboote einen Habitatverlust zwischen 30% und 25%, und auch Zillen können einen Habitatverlust von bis zu 10% der nutzbaren Fläche bewirken.

Eine statistische Analyse (ANOVA) der schiffsbedingten Veränderungen in der Amplitude ergab signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Schiffsklassen (p<0,001) und außerdem nach einem PostHoc-Test nach *Scheffé* zwei Gruppen von Störungseinflüssen (Tab. 4.3.3 und Tab. 4.3.4).

Mittelwasser							
				Beeinfl	ussungsdauer [min]		
Schiffsklasse	Min	Max	Schwankungsbereich	Min	Max	Anzahl	
Referenz	0	6,87	2,24 ± 1,81			104	
Ausflugsschiff	0	274	60,52 ± 40,91	10	20	186	
Frachter	0	231	34,05 ± 28,73	15	13	474	
Kajütboot	0,6	185	54,24 ± 39,49		16	107	
Sportboot	2,45	30,1	12,29 ± 7,27	9	8	15	
Tragflügel	0	269	41,93 ± 46,90	4	9	51	
Zillen	0	154	29,59 ± 25,10	6	9	175	

Tab. 4.3.3 Vergleich der Schiffsklassen bezüglich der Sog- und Schwallwirkung in Mittel- und in Niederwassersituation

			Niederwasser			
				Beeinflu	ussungsdauer [min]	
Schiffsklasse	Min	Max	Schwankungsbereich	Min	Max	Anzahl
Referenz						
Ausflugsschiff	0	232	54,76 ± 47,03	14	14	42
Frachter	0	396	122,40 ± 103,26			
Kajütboot						
Sportboot						
Tragflügel	1,59	160	48,20 ± 49,99	4	16	11
Zillen	0,04	88,6	41,17 ± 35,10			

Die erste Gruppe wird von der Referenz gebildet, die den unbeeinflussten Zustand repräsentiert. Daher ist sie signifikant unterschiedlich (p<0,001) zu jeder durch die Schiffe verursachten Störung. Die zweite Gruppe stellen Schiffe dar, die geringe Störungen verursachen, wie z.B. Zillen, Sportboote und Frachter (siehe auch Störungsintensitätsindex). Die dritte Gruppe repräsentieren Schiffe mit ausgeprägtem Störungseinfluss, also hohem Störungsintensitätsindex wie Ausflugsschiffe, Tragflügelboote und Frachter.

Die Tatsache, dass Frachter in beiden Störungsgruppen vorkommen, lässt sich durch die Heterogenität dieser Gruppe erklären. Faktoren wie Beladungsgrad, Bugform, Breite und Länge des Schiffes können hier eine entscheidende Rolle spielen (Tab. 4.3.1 und Tab. 4.3.4).

Über eine ANOVA wurde getestet, ob sich die Stellen untereinander und von der Referenz unterscheiden. Unterschiede ergaben sich zwischen unbeeinflusstem und beeinflusstem Zustand (p<0,001). Keine signifikanten Unterschiede konnten zwischen Buchten und Schotterstrukturen während einer Störung nachgewiesen werden (Tab. 4.3.5).

Scheffé-Prozedur	n	Unterg	ruppe (für Alp	ha = .05)
		1	2	3
Referenz	104	2,14		
Zillen	27		25,15	
Sportboot	225		31,49	
Frachter	516		44,90	44,90
Tragflügel	107			54,75
Ausflugsschiff	230			62,38

Tab. 4.3.4 Auftrennung der Schiffe nach statistischer Analyse (ANOVA – PostHoc nach Scheffé).

Tab. 4.3.5 Vergleich zwischen den Probenstellen bezüglich der Sog- und Schwallwirkung in Mittel- und in Niederwassersituation

	Mittelwasser						
	Referenz	Minimum	Maximum	Schwankungsbereich	Anzahl		
Stelle 1	1,81	0	269	33,79 ± 30,64	310		
Stelle 2	+1	0	249	44,35 ± 32,65	495		
Stelle 3	24						
Stelle 4	N	0	141	31,22 ± 23,91	203		

	Niederwasser						
	Referenz	Minimum	Maximum	Schwankungsbereich	Anzahl		
Stelle 1							
Stelle 2							
Stelle 3		0	396	80,85 ± 69,85	107		
Stelle 4							

Viele Jungfische suchen am Abend und in der Nacht geschützte Bereiche in den sehr flachen Uferzonen auf. Die Tendenz, in der Dämmerung seichte geschützte Bereiche aufzusuchen, wurde bei der Äsche (Sempeski & Gaudin, 1995), der Regenbogenforelle (Northcote, 1962), der Bachforelle (Roussel & Bardonnet, 1999) und bei Jungfischgesellschaften (Copp & Jurajda, 1993) festgestellt. Seichte Stellen bieten Schutz vor Fressfeinden und zeichnen sich durch sehr niedere Strömungen aus. In der Nacht sind junge Äschen bis 6 cm inaktiv und liegen (rasten) am Boden (Gaudin, 2001). Dabei werden sehr flache, strömungsberuhigte Bereiche nahe der Wasseranschlagslinie aufgesucht. Während der Aktivitätsphasen am Tag konnten Fische unter 20 mm Länge niemals in Wassertiefen unter 5 cm, Fische über 20 mm niemals in Wassertiefen von weniger als 10 cm beobachtet werden. In der Nacht konnten 70% der 15-20 mm Fische in Tiefen unter 5 cm und der selbe Prozentsatz der 20 – 30 mm Fische in Tiefen von weniger als 10 cm angetroffen werden. In der Nacht wurden Tiefen bevorzugt, die im Schnitt 2 bis 3 mal seichter als am Tag waren

(Gaudin, 2001). Am Mississippi konnte anhand der Anzahl der aus ihren Habitaten verdrifteten Jungfischen nachgewiesen werden, dass der Einfluss der Schifffahrt in den Dämmerungs- und Nachtstunden besonders hoch ist (Holland & Sylvester, 1983).

Zieht man die oben ausgeführten Verhaltensweisen bei der Interpretation der hier vorliegenden Ergebnisse in Betracht, wird das potientelle Störungsausmaß durch diesen Mikrohabitatverlust (Flächen- und Habitatverlust) auch in der Nacht deutlich (Tab. 4.3.2).

Schiffahrtsbedingter Wellenschlag verursacht große Flächenveränderung von Jungfischhabitaten innerhalb kurzer Zeiträume und lässt potentiell nutzbare Flächen großräumig trockenfallen. Davon sind Jungfische direkt betroffen.

#### 4.4 WELLENHÖHE

Als Maß für die Hubwirkung wurde die Veränderung der Wellenhöhe in der Zeit herangezogen. Auch hier zeigen sich starke Unterschiede in der Schwankungsbreite verglichen mit dem unbeeinflussten Zustand (Referenz) (Abb. 4.4.1).



Abb. 4.4.1 Schwankungsbreite der Hubwirkung (Veränderung der Wellenhöhe) eines Tragflügelbootes. Das grünes Rechteck gibt die Referenzschwankungsbreite wieder, die roten Bereiche stellen die Schwankungsbreite der Wellentäler und -berge dar.



Abb. 4.4.2 Rote Balken: Frequenz der Wellenhöhen - Amplituden im beeinflussten Zustand, grünes Rechteck: angedeuteter Bereich der Referenz - Wellenhöhen zwischen -2 und +2 cm.

Im unbeeinflussten Zustand schwankt die Wellenhöhe um  $0 \pm 2$  cm. Im Falle einer Störung (Schiff) beträgt die Auslenkungen von der Nulllinie bis zu 30 cm (Abb. 4.2.2).

Auch hier lässt sich die Übereinstimmung der maximalen Frequenz mit dem unbeeinflussten Zustand (-1 cm) durch die prinzipielle Problematik einer punktuellen Aufnahme einer Wellenform erklären (siehe auch Wellengeschwindigkeit und Sogund Schwallwirkung).

Da die Veränderung in der Wellenhöhe keine direkten Auswirkungen auf Jungfische hat, da sich nur die Positionierung in der Wassersäule verändert, und weiters der beeinflusste vom unbeeinflussten Zustand nicht signifikant unterschiedlich ist, wurden keine weiteren Berechnungen für diesen Parameter durchgeführt (Tab. 4.4.1 und Tab. 4.2.2).

Tab. 4.4.1 Vergleich der Schiffsklassen bezüglich der Hubwirkung bei Mittelwasser.

Schiffsklasse	Min	Max	Schwankungsbereich	Anzahl
Referenz	0	3	0,97 ± 0,69	17
Ausflugsschiff	0	17	$3,35 \pm 3,58$	142
Frachter	0	25	$3,43 \pm 3,99$	447
Sportboote	0	29	$4,02 \pm 4,42$	144
Tragflügel	0	19	3,87 ± 3,87	120
Zillen	0	7	2,14 ± 1,82	142

Tab. 4.2.2 Vergleich zwischen den Probenstellen bezüglich der Hubwirkung bei Mittelwasser.

	Referenz	Min	Max	Schwankungsbereich	Anzahl
Stelle 1	2 ± 1,95	0	136	10,67 ± 9,93	3585
Stelle 2	1,32 ± 1,30	0	78	5,87 ± 5,84	3412
Stelle 3	2 ± 1,61	0	127	$7,47 \pm 7,54$	4005
Stelle 4	2,19 ± 1,68	0	141	7,03 ± 8,68	4076

Dies kann zu dem einen auf die relativ flachen Uferneigungen der beprobten Habitate, zu dem anderen auf die Interferenzphänomene zurückgeführt werden, die sich aus der Wellenphysiognomie ergeben.

Eine indirekte Auswirkung auf Jungfische ergibt sich allerdings durch die bereits oben ausgeführte Sog- und Schwallwirkung, die eng mit der Veränderung in der Wellenhöhe gekoppelt ist.

#### 4.5 BEFISCHUNGEN

Bei den Punktbefischungen konnten sowohl charakteristische Flussfische (Nase, Nerfling, Schrätzer, Kessler Grundel) wie auch eurytope Arten (Rotauge, Laube) (Spindler, 1997) gefangen werden (Tab. 4.5.1).

Tab. 4.5.1 Auflistung der gefangenen Arten.

Familie	Name, lat.	Name, deut.
Cyprinidae	Alburnus alburnus. L.	Laube
Cyprinidae	Aspius aspius, L.	Schied
Cyprinidae	Chondrostoma nasus (L.)	Nase
Cyprinidae	Leuciscus cephalus, L.	Aitel
Cyprinidae	Leuciscus idus, L.	Nerfling
Cyprinidae	Rutilus rutilus, L.	Rotauge
Gobiidae	Neogobius kessleri, GÜNTHER	Kessler Grundel
Percidae	Gymnocephalus schraetzer, L.	Schrätzer

Der Anteil der Nullfänge lag bei ca. 90%, was im Normbereich der Point-abundancesampling-Methode liegt. Die Orther Bucht wies den höchsten Wert an Individuen pro m<sup>2</sup> auf, was mit der Klassifizierung nach Spindler (1998) übereinstimmt, der diesen Stantort als geeignetes Jungfischhabitat ausweist (Tab. 4.5.2).

Datum	Stelle	Anzahl	Null- Fänge	Ind. m <sup>-2</sup>	befischte Fläche [m <sup>2</sup> ]	Befischte Punkte
25.06.01	1	5	20	0,27	18,75	25
26.06.01	2	27	18	1,44	18,75	25
27.06.01	3	12	22	0,64	18,75	25
29.06.01	4	16	15	0.85	18,75	25
31.08.01	3	6	22	0,32	18,75	25

Tab. 4.5.2 Fangstatistik für die Punktbefischungen.

#### 4.6 SCHLEUSENSTATISTIK

Hochrechnungen anhand der Schleusenstatistik der Schleuse Freudenau lassen Rückschlüsse auf den schifffahrtsbedingen Jahres - Gesamtstörungseinfluss für die Donau unterhalb Wiens zu (Tab. 4.6.1).

Tab. 4.6.1 Schiffsfrequenzen pro Monat, ermittelt durch Aufzeichnung der Schleuse Freudenau (Daten: Statistik Austria).

Monat	Frachter P	ersonenschiffe	Pro Monat	Pro Tag	Pro Stunde
lännor	0/1	17	058	30	1 3
	941	0	905	32	1,5
Februar	895	0	895	32	1,3
März	774	19	793	26	1,1
April	919	258	1.177	38	1,6
Mai	1.043	492	1.535	51	2,1
Juni	968	520	1.488	48	2,0
Juli	1.095	536	1.631	53	2,2
August	1.041	603	1.644	53	2,2
September	1.148	519	1.667	56	2,3
Oktober	973	333	1.306	42	1,8
November	1.042	9	1.051	35	1,5
Dezember	1.088	22	1.110	36	1,5
Pro Jahr	11.927	3.328	15.255		

Frachtschiffe fahren das ganze Jahr hindurch regelmäßig, während die Personenschifffahrt in den Wintermonaten stark zurückgeht. Besonders in den für Jungfischen relevanten Monaten, von April bis August, in denen sie sich in der sensibelsten Phase befinden (Welcomme, 1988) ist der Schiffsverkehr aufgrund der erhöhten Personenschifffahrt am stärksten (Tab. 4.6.1 und Abb. 4.6.1).

Tab. 4.6.2 Direkte Störungswirkung durch die Schiffahrt in Stunden pro Jahr

Schiffeklasson	direkte Störungswirkung [h Jahr <sup>-1</sup> ]						
nach Statistik Austria	Trube	min	max	Min	max		
<b>Frachter</b> n = 11.927	1908	318	716	1033	1193		
Personenschiffe n = 3.328	854	67	732	88,7	444		
Gesamt	2763	385	1448	1122	1636		





In dieser Studie wurden maximale und minimale Beeinflussungsdauern für alle Schiffsklassen bezüglich der Parameter: Schwebstoffe, Strömung und Sog- und Schwallwirkung ermittelt (siehe 4.1, 4.2, 4.3). Mit der Schifffahrtshäufigkeit multipliziert ergibt sich die durchschnittliche direkte Störungszeit in Stunden pro Jahr (Tab. 4.6.2).

Es zeigt sich, dass die Trübeverhältnisse am längsten von Schiffsstörungen betroffen sind. Das lässt sich auf die nur sehr langsame Absedimentation der Schwebstoffe zurückführen, vor allem dann, wenn mehrere Störungsereignisse hintereinander auftreten. Direkte Störungswirkung auf Jungfische wegen Veränderungen in Strömung und Sogwirkung sind annähernd gleich in ihrer Dauer (ca. 1.500 Stunden/Jahr). Man muss hier allerdings anmerken, dass es hier um eine Abfolge von kurzfristigen Einzelereignissen handelt und für den Fisch kann jedes einzelne Ereignis letale Folgen haben.

Um einen Eindruck vom Störungsausmaß in der entwicklungsbiologisch kritischen Zeit zwischen April und August zu erhalten, wurden für diesen Zeitraum die Störungsstunden pro Tag errechnet (Tab. 4.6.3).

	Beeinflusste Zeit zwischen April und August [Stunden pro Tag]					
Schiffsklassen	Trübe	Strö	mung	S	og	
nach Statistik Austria		Min	Max	Min	Max	
<b>Frachter</b>	13,2	2,2	5,0	7,2	8,3	
<b>Personenschiffe</b> n = 2.409	10,1	0,8	8,7	2,6	5,2	
Gesamt	23,3	3,0	13,6	9,8	13,5	

Tab. 4.6.3 direkte Störungseinwirkungzeit zwischen April und August.

Aufgrund der Daten für kritische Strömungsgeschwindigkeiten von 15 mm Nasen (Flore & Keckeis, 1998) konnte exemplarisch jene kritische Zeit errechnet werden, in der die Wellengeschwindigkeit (Strömung) für diese Fischgröße effektiven Schaden verursacht (Tab. 4.6.4).

Tab. 4.6.4 Kritische Zeit in Stunden pro Tag für 15 mm Nasen (bezogen auf die Strömung), im Zeitraum April bis August.

Kritische Zeit zwischen April und August [Stunden pro Tag] für 15 mm Nasen					
Schiffsklassen	Strömung				
nach Statistik Austria-Angaben	Max				
Frachter n = 5.066 Personenschiffe n = 2.409	1,7 1,3				
Gesamt	3,0				

Bis zu drei Stunden pro Tag, auf viele Störungsereignisse verteilt über den gesamten Tag, werden 15 mm Nasen an den untersuchten Standorten durch den schifffahrtsbedingten Wellenschlag geschädigt. Diese häufige Strömungsspitzen können lethale Folgen haben. Die schädlichen Folgen des schifffahrtsbedingten Mikrohabitatverlustes gehen in diese Hochrechnung nicht ein, stellen also eine weitere Verlängerung der gesamten beeinflussten Zeit dar.

In der für Jungfische sensibelsten Zeit zwischen April und September ist die Schifffahrtsfrequenz durch verstärkten Personenschiffsverkehr besonders hoch. Große Teile des Tages sind so von schifffahrtsbedingten Veränderungen betroffen. Die Stärke und Häufigkeit dieser Störungen haben schwerwiegende Folgen für die Jungfische der Donau.

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Diese Studie untersucht den Einfluss von schifffahrtsbedingten Wellenschlag auf die Jungfischfauna der Donau. Folgende schwerwiegende Schlüsse können aus der Synthese der Ergebnisse gezogen werden:

- Der Schwebstoffhaushalt von potentiellen Jungfischhabitaten wird durch die Schifffahrt verändert. Die Schwebstoffkonzentration wird signifikant erhöht. Diese Erhöhung ist von langer Dauer und großer Häufigkeit.
- Jungfische werden dadurch direkt durch Verringerung ihrer reaktiven Distanz und durch Milieuänderungen sowie indirekt durch negative Auswirkungen auf Nährtiere beeinflusst.
- Die Strömungsgeschwindigkeiten in potentiellen Jungfisch Lebensräumen wird durch den Einfluss der Schifffahrt signifikant erhöht. Die Strömungsverhältnisse sind bei weitem variabler als im unbeeinflussten Zustand.
- Die negativen Auswirkungen auf die Jungfische bestehen in der Überschreitung von physiologischen Grenzen, die das Wachstum und die Nahrungsaufnahme einschränken und sogar letale Folgen haben können.
- Schiffahrtsbedingter Wellenschlag verursacht große Flächenveränderungen in Jungfischhabitaten innerhalb kurzer Zeiträume und läßt potentiell nutzbare Flächen großräumig trockenfallen.
- Eine negativen Auswirkung auf Jungfische durch den plötzlichen Verlust an Aufenthaltsraum ist evident und kann ebenfalls letale Folgen haben.

Empfehlungen für eine langfristige Verbesserung der Jungfischhabitat - Situation bezüglich des Einflusses von schifffahrtsbedingten Wellenschlag sind eine detaillierte und fachgerechte Planung z. B. von Uferrückbauten, ausgedehnten heterogenen Flachwasserarealen und die Schaffung und Wiederanbindung von Refugialräumen (eventuell mit vorgelagerten Strukturen zur Verringerung der Wellenenergie am Ufer). Die gesetzliche Beschränkung der Schiffsgeschwindigkeit nach dem Vorbild des Rheins, sowie weitere interdisziplinäre Studien dieses vielschichtigen Themenbereiches sind ebenfalls dringend zu empfehlen.

## 6 LITERATUR

- BARRETT, J., GROSSMAN, G.D. & ROSENFELD J., 1992: TURBIDITY-INDUCED CHANGES IN REAKTIVE DISTANCE OF RAINBOW TROUT. - TRANS. AM. FISH. Soc., **121**, 437-443.
- BENFIELD, M.C. & MINELLO, T.J., 1996: RELATIVE EFFECTS OF TURBIDITY AND LIGHT INTENSITY ON REAKTIVE DISTANCE AND FEEDING OF AN ESTUARINE FISH. -ENVIROMENTAL BIOLOGY OF FISHES, **46**, 211-216.
- BLESS, R., 1992: EINSICHTEN IN DIE ÖKOLOGIE DER ELRITZE *PHOXINUS PHOXINUS* (L.) -PRAKTISCHE GRUNDLAGEN ZUM SCHUTZ EINER GEFÄHRDETEN FISCHART. - SCHR. REIHE F. LANDSCHAFTSPFLEGE UND NATURSCHUTZ **35**, BONN- BAD GODESBERG.
- COPP, G.H. & JURAJDA, P., 1993: DO SMALL RIVERINE FISH MOVE INSHORE AT NIGHT? J. FISH BIOL., **43** (SUPPLEMENT), 229-241.
- Copp, G.H., Peňaz, M., 1988: ECOLOGY OF FISH SPAWNING AND NURSERY ZONES IN THE FLOODPLAIN, USING A NEW SAMPLING APPROACH. HYDROBIOLOGIA 169: 209-224.
- Copp, G.H., 1989b: The habitat diversity and fish reproductive function of flood plain ecosystems. Env. Biol. Fish. **26**: 1-26.
- FLORE, L. & KECKEIS, H., 1998: THE EFFECT OF WATER CURRENT ON FORAGING BEHAVIOUR OF THE RHEOPHILIC CYPRINID CHONDROSTOMA NASUS (L.) DURING ONTOGENY: EVIDENCE OF A TRADE-OFF BETWEEN ENERGETIC GAIN AND SWIMMING COSTS. - REGUL. RIVERS. MGMT., 14, 141-154.
- FLORE, L., KECKEIS, H. & SCHIEMER, F., 2001: FEEDING, ENERGETIC BENEFIT AND SWIMMING CAPABILITIES OF 0+ NASE (*CHONDRSTOMA NASUS*, L.) IN FLOWING WATER: AN INTEGRATIVE LABORATORY APPROACH. - ARCH. HYDROBIOL., SUPPL. **135**/2-4, 409-424.
- Gaudin, P., 2001: Habitat shifts in juvenile riverine fishes. Arch. Hydrobiol. Suppl. **135**/2-4, 393-408; Large Rivers, Vol. **12**, No.2-4.
- GRADALL, K.S. & SWENSON W.A., 1982: RESPONSES OF BROOK TROUT AND CREEK CHUBS TO TURBIDITY. TRANS. AM. FISH. SOC., **111**, 392-395.
- GREGORY, R.S. & NORTHCOTE, T.G., 1993: SURFACE, PLANKTONIC, AND BENTHIC FORAGING BY JUVENILE CHINOOK SALMON (*ONCORHYNCHUS TSHAWYTSCHA*) IN TURBID LABORATORY CONDITIONS. - CAN. J. AQUAT. SCI., **50**.

- HOLLAND, L.E., & SYLVESTER, J.R., 1983: DISTRIBUTION OF LARVAL FISHES REALATED TO POTENTIAL NAVIGATION IMPACTS ON THE UPPER MISSISSIPPI RIVER, POOL 7. -TRANSACTIONS OF THE AMERICAN FISCHERIES SOCIETY, **112**, 293-301.
- KAUFMANN, R. & WIESER, W., 1991: INFLUENCE OF TEMPERATURE AND AMBIENT OXIGEN ON SWIMMING ENERGETICS OF CYPRINID LARVAE AND JUVENILES. – ENVIRONMENTAL BIOLOGY OF FISHES.
- KECKEIS, H., BAUER-NEMESCHKAL, E., KAMLER, E. 1996: EFFECTS OF REDUCED OXYGEN LEVEL ON MORTALITY AND HATCHING RATE OF *CHONDROSTOMA NASUS* EMBRYOS. -J.FISH.BIOL., **49**, 430-440.
- KECKEIS, H., WINKLER, G., FLORE, L., RECKENDORFER, W. & SCHIEMER, F., 1997: SPATIAL AND SEASONAL CHARACTERISTICS OF 0+ FISH NURSEY HABITATS OF NASE, *CHONDROSTOMA NASUS* IN THE RIVER DANUBE, AUSTRIA. - FOLIA ZOOLOGICA, 46 (SUPPL. 1), 133-150.
- Konobeeva, V.K. & Volodin, V.M., 1989: Experimental studies on the swimming ability of Pike (*Esox lucius*), Bream (*Abramis brama*) and Roach (*Rutilus Rutilus*) Juveniles from Rybinsk Reservoir. - Voprosy Ikhtiologii, **3**, 489 – 498.
- KURMAYER, R., KECKEIS, H., SCHRUTKA, S. & ZWEIMÜLLER I., 1996: MACRO- AND MICROHABITATS USED BY 0+ FISH IN A SIDE - ARM OF THE RIVER DANUBE. - ARCH. HYDROBIOL. SUPPL., **113/**1-4, 425-432; LARGE RIVERS **10**.
- LAMOUROUX, N., CAPRA, H., POULLY, M., SOUCHON, Y., 1999: FISH HABITAT PREFERENCES IN LARGE STREAMS OF SOUTHERN FRANCE. – FRESHWATER BIOLOGY, 42, 673-687.
- LAMOUROUX, N., OLIVIER, J.-M., PERSAT, H., POUILLY, M., SOUCHON, Y. & STATZNER,
   B., 1999: PREDICTING COMMUNITY CHARACTERISTICS FROM HABITAT CONDITIONS:
   FLUVIAL FISH AND HYDRAULICS. FRESHWATER BIOLOGY, 42, 275-299.
- MURPHY, K.J. & EATON J.W., :1983: EFFECTS OF PLEASURE BOAT TRAFFIC ON MACROPHYTE GROWTH IN CANALS. - J. APPL. ECOL., **20**, 713-729.
- MURPHY, K.J., WILLBY, N.J., EATON, J.W., 1995: ECOLOGICAL IMPACTS AND MANAGEMENT OF BOAT TRAFFIC ON NAVIGABLE INLAND WATERWAYS. IN: HARPER, D., (ED.): ECOLOGICAL BASIS FOR RIVER MANAGMENT. – WILEY-CHICHESTER.

- NACHTNEBEL, H.P., SEIDELMANN, R., MÜLLER, H.W. & SCHWAIGHOFER, B., 1998: HERKUNFT UND ZUSAMMENSETZUNG DER SCHWEBSTOFFE IN DER DONAU UND IHREN WICHTIGSTEN ZUBRINGERN. - SCHRIFTREIHE DER FORSCHUNG IM VERBUND, BAND
  45, ÖSTERREICHISCHE ELEKTRIZITÄTSWIRTSCHAFT - AKTIENGESELLSCHAFT (VERBUND-GESELLSCHAFT), AM HOF 6A, A-1010 WIEN.
- NORTHCOTE, T.G., 1962: MIGRATORY BEHAVIOUR OF JUVENILE RAINBOW TROUT, SALMO GAIDNERI, IN OUTLET AND INLET STREAMS OF LOON LAKE, BRITISH COLUMBIA. - J. FISH. RES. BD. CANADA, **19**, 201-270.
- Nelva, A., Persat, H., Chessel, D. 1979: UNE NOUVELLE METHODE D'E'TUDE DES PEUPLEMENTS ICHTYOLIGIQUES DANS LES GRANDS COURS D'EAU PAR ECHANTILLONNAGE PONCTUEL D'ABONDANCE. C.R.ACAD.SCI.PARIS 289(D), 1295-1298.
- Obrdlik, P. & Schneider, E. : Ökologische Auswirkungen der Binnenschiffahrt. Studie, WWF Österreich, WWF-Auen-Institut.
- ODUM, E.P., 1975: ECOLOGY THE LINK BETWEEN THE NATURAL AND THE SOCIAL SCIENCES HOLT, RINEHART AND WINSTON, NEW YORK.
- Persat, H., Copp, G.H. 1989: ELECTROFISHING AND POINT ABUNDANCE SAMPLING FOR THE ICHTHYOLOGY OF LARGE RIVERS. IN DEVELOPMENTS IN ELECTROFISHING, Cowx, I.G. (ED), OXFORD: FISHING NEWS BOOKS, P.203-215.
- ROBERTS, R.J. 1985: GRUNDLAGEN DER FISCHPATHOLOGIE, BERLIN.
- ROUSSEL, J.M. & BARDONNET, A., 1999: ONTOGENY OF DIEL PATTERN OF STREAM MARGIN HABITAT USE BY EMERGING BROWN TROUT (*SALMO TRUTTA* L.) IN EXPERIMENTAL CHANNELS: INFLUENCE OF FOOD AND PREDATOR PRESENCE. - ENVIRONM. BIOL. OF FISHES, IN PRESS.
- Rütten, M, 1994: Der Einfluß der Schiffahrt auf das Makrozoobenthos. Sonderband Fluß-Ufer-Ökologie, Wissenschaftliche Mitteilungen des Niederösterreichischen Landesmuseums.
- Schiemer, F. & Reckendorfer, W., 2000: Das Donau Restaurierungsprojekt; Gewässervernetzung Regelsbrunn. - Abhandlungen der Zoologisch– Botanischen Gesellschaft in Österreich, Band **31**.

- Schiemer, F. & Spindler, T. 1989: Endangered fish species of the Danube River in Austria. - Regulated Rivers. - Research & Management, **4**, 397 - 407.
- Schiemer, F., Jungwirth, M., Imhof, G., 1994: Die Fische der Donau Gefährdung und Schutz - Ökologische Bewertung der Umgestaltung der Donau. - Grüne Reihe des BMUJF, Band 5, Styria medien serviece. Graz: 160.
- Schiemer, F., Spindler, T., Wintersberger, H., Schneider, A., Chovanec, A., 1991: Fish fry assotiations: Important indicators for the ecological status of Large Rivers. – Verh. Intern. Verein. Limnol., **24**, 497-2500.
- SEMPESKI, P. & GAUDIN, P. 1995: HABITAT SELECTION AND HABITAT USE BY YOUNG STAGES OF A RHEOPHILIC FISH SPECIES : THE GRAYLING MODEL (*THYMALLUS THYMALLUS*, L.). - BULL. FRANC. PECHE ET PISCICULT, **337/338/339**, 215-220
- SIGLER, J.W., BJORNN T.C. & EVEREST F.H. 1984. EFFECTS OF CHRONIC TURBIDITY ON DENSITY AND GROWTH OF STEELHEADS AND COHO SALMON. - TRANS. AM. FISH. SOC., **113**, 142-150.
- SMART, M.M., RADA, R.G., NIELSEN, D.N., CLAFIN, T.O., 1985: THE EFFECT OF COMMERCIAL AND RECREATIONAL TRAFFIC ON THE RESUSPENSION OF SEDIMENT IN NAVIGATION POOL 9 OF THE UPPER MISSISSIPPI RIVER. - HYDROBIOLOGIA, **126**, 263-274.
- SPINDLER, T.: LITERATURSTUDIUM ÜBER DIE AUSWIRKUNGEN VON WELLENSCHLAG INSBESONDERE VON MOTORISIERTEN KLEIN- ODER SPORTBOOTEN AUF FISCHBESTAND UND FISCHEREI. STUDIE IM AUFTRAG DES FRV1 – KREMS.
- Spindler, T., 1988: Ökologie der Brutfische in der Donau Dissertation an der Universität Wien.
- SPINDLER, T., 1993: POPULATIONSDYNAMISCHE UNTERSUCHUNGEN IM ALTARMSYSTEM IN DER DONAU IM BEREICH VON REGEGELSBRUNN UND HASLAU. - WWF FORSCHUNGSBERICHT 9/1993. FISCHEREIMANAGMENT 3. EIGENVERLAG FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT AUENZENTRUM PETRONELL.
- Spindler, T., 1995: The influence of high waters on stream fish populations in regulated rivers. Hydrobiologia, **303**, 159-161.

- SPINDLER, T., 1997: FISCHFAUNA IN ÖSTERREICH: ÖKOLOGIE, GEFÄHRDUNG, BIOINDIKATION, FISCHEREI, GESETZGEBUNG. - BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, JUGEND UND FAMILIE, MONOGRAPHIEN BAND, **87**.
- TITTIZER, T. & SCHLEUTER, A., 1989: ÜBER DIE AUSWIRKUNGEN WASSERBAULICHER
   MAßNAHMEN AUF DIE BIOLOGISCHEN VERHÄLTNISSE IN DEN BUNDESWASSERSTRAßEN.
   DEUTSCHE GEWÄSSERKUNDLICHE MITTEILUNGEN (DGM) 33, H.2.
- WARD, J.V., 1998: RIVERINE LANDSCAPES: BIODIVERSITY PATTERNS, DISTURBANCE REGIMES, AND AQUATIC CONSERVATION. - BIOLOGICAL CONSERVATION, **83**(3), 269-278.
- WARD, J.V., 1992: Aquatic insect ecology 1: Biology and habitat. Wiley-New York.
- WEDEMEYER, G.A, 1972: SOME PHYSIOLOGICAL CONSEQUENCES OF HANDLING STRESS. -J. FISH. RES. BOARD CAN., **29**, 1780-1783.
- WEDEMEYER, G.A, MEYER, F.P. & SMITH, L., 1976: ENVIROMENTAL STRESS AND FISH DESEASES. - TFH PUBLIC NEPTUNE, N.J. USA.
- WINKLER, G., KECKEIS, H., RECKENDORFER, W., SCHIEMER, F., 1997: TEMPORAL AND SPATIAL DYNAMICS OF 0+ CHONDROSTOMA NASUS, AT THE INSHORE ZONE OF A LARGE RIVER. – FOLIA ZOOLOGICA, **46** (SUPPL1), 151-168.
- ZAUNER, G. & SCHIEMER, F., 1992: AUSWIRKUNGEN DER SCHIFFAHRT AUF DIE FISCHFAUNA - AUFGEZEIGT AM BEISPIEL DER ÖSTERREICHISCHEN DONAU. -LANDSCHAFTSWASSERBAU 14 SCHIFFAHRT UND UMWELT, HRSG. TU WIEN UND ÖGNU, 135-149.
- Zauner, G. & Schiemer, F., 1994: Auswirkungen der Schifffahrt auf die Fischfauna großer Fließgewässer. - In: Wiss. Mitt. Niederösterr. Landesmuseum, **8**, 271-285.
- Zerrath, H., 1996: Sprintleistungen einheimischer Klein- und Jungfische in Sohlgleitenmodellen – Daten zur Bewertung von Fischaufstiegshilfen. -Fischökologie, Heft **9**, 27-48.
- Ziegler, T., 1993: Untersuchungen über die Auswirkungen des Schiffsverkehrs auf die Makroinvertebratenbesiedlung der Bundesstraßen. - Rödemark, unveröffentlicht.

#### 7 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb.	2.1 Methodik, Überblick.	6
Abb.	2.2 Strömungsmessung, Flow-Mate, Diktaphon.	7
Abb.	2.3 Sog und Schwall.	8
Abb.	2.4 Meßlatte für die Wellenhöhe	9
Abb.	3.2.1 Schematische Darstellung der Veränderung der Lebensraumansprüche zwischen eurytopen ur reophilen Jungfischen in den ersten Lebensmonaten (Schiemer & Spindler, 1989)	nd I 3
Abb.	3.3.1 Überblickskarte der Donau bei Fischamend. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 1.	5
Abb.	3.3.2 Stelle 1, Bucht bei Fischamend.	6
Abb.	3.4.1 Überblickskarte der Donau bei Orth. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 2.	6
Abb.	3.4.2 Stelle 2, Bucht in Orth an der Donau.	17
Abb.	3.5.2 Stelle 3, Buhnenschotterfeld bei Stopfenreuth im Juli (erhöhtes Mittelwasser), Blick stromauf.	8
Abb.	3.5.3 Stelle 3, Buhnenschotterfeld bei Stopfenreuth im September (Niederwasser), Blick stromauf.	9
Abb.	3.5.4 Stelle 3, Tiefenrelief bei Niederwasser (31. August, Wildungsmauer 111 cm, Mittelwass (MW _96 = 216) minus 105). Roter Bereich = 40 cm Wassertiefe. Die Längenangaben de Buhnenschotterfeldes folgen der Stromkilometrierung der Donau und sind daher der Fließrichtur entgegengesetzt.	er es ng 20
Abb.	3.5.5 Stelle 3, Tiefenverteilung bei Niederwasser. Stelle 3, (31. August, Wildungsmauer 111 m ü.A.). Rot Bereich = 40 cm Wassertiefe. Die Längenangaben der Wasseranschlagslinie folgen der Stromkilometrierur der Donau und sind daher der Fließrichtung entgegengesetzt.	er 1g 21
Abb.	3.5.5 Stelle 3, Strömungsverteilung bei Niederwasser. Die Längenangaben der Wasseranschlagslinie folge der Stromkilometrierung der Donau und sind daher der Fließrichtung entgegengesetzt.	en 22
Abb.	3.6.1 Überblickskarte der Donau bei Schönau. Das blaue Feld entspricht der untersuchten Stelle 4.	23
Abb.	3.6.2 Stelle 4, Schotterbank bei Schönau.	23
Abb.	3.1.1 zeitlicher Verlauf der Beeinflussung durch Schwebstoffe während einer Störung.	27
Abb.	4.2.1 Wellenmuster, durch ein Tragflügelboot entstanden. rote Linien zeigen in (a) die kritischen Ma Bereiche für 15mm Nasen, in (b) für 56mm große Nasen (entnommen aus Flore & Keckeis, 1998). Grün Linie gibt die Referenz wieder.	3- าe 31
Abb.	4.2.2 Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten aller Stellen im unbeeinflussten Zustand ur MS-Grenzen für 15mm Nasen (rote Linien).	۱d 32
Abb.	4.2.3 Häufigkeitsverteilung der Strömungsgeschwindigkeiten aller Stellen im beeinflussten Zustand (rot).	33
Abb.	4.2.4 Summenkurven der Strömungsamplituden für jede Schiffsklasse bei Mittelwasser (linke Spalte) ur Niederwasser (rechte Spalte). Die blaue Kurve repräsentiert das Kajütboot, die roten Kurven das Minimu bzw. Maximum der jeweiligen Schiffsklasse. Die rote Linien verbinden die jeweiligen Extreme zur Bandbrei der dargestellten Schiffsklasse.	nd m te 34
Skiz	ze 4.2.1 Schematisches Donau - Querprofil mit flachem und steilem Ufer. Hellblaue Linie: Wasserstand b Mittelwasser, dunkelblaue Linie: Wasserstand bei Niederwasser.	ei 35
Abb	4.2.5 Kritische Strömungsgeschwindigkeiten für <i>C. nasus</i> (verändert von Flore & Keckeis, 1998 ur Flore <i>et al.</i> , 2001).	1d 37
Abb.	4.2.6 Aufbau der Strömungsrinne für Versuche an <i>C. nasu</i> s.	38
Abb.	4.2.5 Maximale Beeinflussungsdauer für jede Schiffsklasse bei einem Störungsereignis.	39
Abb.	4.3.1 Sog- und Schwallwirkung des Tragflügelbootes. Grüne Linie indiziert den Referenzzustand. D schwarzen Dreiecke repräsentieren die Masspunkte in einem viertel Sekunden Intervall, die gepunkte Kurve sellt eine mögliche Interpolation zwischen den Messpunkten dar.	ie te I3
Abb.	4.3.2 Skizze eines Sog- und Schwallmusters von einem Ausflugsschiff.	14
Abb.	4.3.4 zeitliche Verlauf der Bandbreite der Beeinflussung der einzelnen Schiffsklassen: Ausflugsschiffe (a Frachter (b), Sportboote (c), Tragflügelboote (d) und Zillen (e) bei Mittelwasser (linke Spalte) und b	a), ei

- Abb. 4.4.1 Schwankungsbreite der Hubwirkung (Veränderung der Wellenhöhe) eines Tragflügelbootes. Das grünes Rechteck gibt die Referenzschwankungsbreite wieder, die roten Bereiche stellen die Schwankungsbreite der Wellentäler und -berge dar. 52
- Abb. 4.4.2 Rote Balken: Frequenz der Wellenhöhen Amplituden im beeinflussten Zustand, grünes Rechteck: angedeuteter Bereich der Referenz - Wellenhöhen zwischen -2 und +2 cm. 52

Abb. 4.6.1 Anzahl der Schiffe pro Monat. Dunkelblaue Balken: Frachtschiffe, hellblaue Balken: Personenschiffe. 56

## 8 TABELLENVERZEICHNIS

Tab.	3.7.1 Allgemeine Stellencharakterisierung I (kursiv: Aschegewicht der Referenzproben)	24
Tab.	3.7.2 Allgemeine Stellencharakterisierung II (kursiv: Stellen aus Spindler, 1989)	24
Tab.	3.7.3 Charakterisierung Stelle 3 an zwei verschiedenen Terminen I (kursiv: Aschegewicht e Referenzproben)	der 25
Tab.	3.7.4 Charakterisierung Stelle 3 an zwei verschiedenen Terminen II (kursiv: Stellen aus Spindler, 1989)	25
Tab.	3.1.1 Mittelwert (Mittel), Standardabweichung (SD), Minimum (Min) und Maximum (Max) der Schwebsto für Schiffe und Referenzwerte im Vergleich mit Literaturdaten aus Nachtnebel <i>et al</i> (1998).	offe 26
Tab.	3.1.2 Vergleich zwischen unbeeinflussten (Referenz) und beeinflussten (Schiff) Zuständen pro Stelle; Unterschiede auf einem Signifikanzniveau von 5%.	**= 27
Tab.	3.1.3 mittlere Trübewerte und prozentuelle Erhöhung bei einer Störung (Schiff)	27
Tab.	4.2.1 Minimale und maximale Beeinflussungsdauer, ermittelte Steigung k und Störungsintensitätsindex durch Strömungsveränderungen für die einzelnen Schiffsklassen bei Mittel- und bei Niederwassersituation	: ω on. 36
Tab.	4.2.2 Kritische Strömungswerte für ausgewählte Fischarten (rheophil = Nase; euryök = Aitel, Rotaug Kursiv: Beeinflussungsdauer von Strömungsänderungen für die verschiedenen Schiffsklassen.	le). 38
Tab.	4.2.3 Präferierte Strömungsbereiche nach Lamouroux et al. (1999).	40
Tab.	4.2.4 Vergleich der Schiffsklassen in den untersuchten Parametern der Strömung in Mittel- und Niederwassersituation.	in 40
Tab.	4.2.5 Vergleich zwischen den Probenstellen in den untersuchten Parametern der Strömung in Mittel- und Niederwassersituation.	1 in 41
Tab.	4.3.1 Minimale und maximale Beeinflussungsdauer, ermittelte Steigung k und Störungsintensitätsindex durch Sog- und Schwallwirkung für die einzelnen Schiffsklassen bei Mittel- und bei Niederwassersituation.	ω 47
Tab.	4.3.2 maximale Auslenkung, Habitatverlust und Flächenänderungen durch Störungen der einzeln Schiffstypen.	ien 48
Tab.	4.3.3 Vergleich der Schiffsklassen bezüglich der Sog- und Schwallwirkung in Mittel- und Niederwassersituation	in 49
Tab.	4.3.4 Auftrennung der Schiffe nach statistischer Analyse (ANOVA – PostHoc nach Scheffé).	50
Tab.	4.3.5 Vergleich zwischen den Probenstellen bezüglich der Sog- und Schwallwirkung in Mittel- und Niederwassersituation	in 50
Tab.	4.4.1 Vergleich der Schiffsklassen bezüglich der Hubwirkung bei Mittelwasser.	53
Tab.	4.2.2 Vergleich zwischen den Probenstellen bezüglich der Hubwirkung bei Mittelwasser.	53
Tab.	4.5.1 Auflistung der gefangenen Arten.	54
Tab.	4.5.2 Fangstatistik für die Punktbefischungen.	54
Tab.	4.6.1 Schiffsfrequenzen pro Monat, ermittelt durch Aufzeichnung der Schleuse Freudenau (Daten: Statis Austria).	stik 55
Tab.	4.6.2 Direkte Störungswirkung durch die Schiffahrt in Stunden pro Jahr	55
Tab.	4.6.3 direkte Störungseinwirkungzeit zwischen April und August.	57
Tab.	4.6.4 Kritische Zeit in Stunden pro Tag für 15 mm Nasen (bezogen auf die Strömung), im Zeitraum April August.	bis 57

## 9 BILDANHANG



Ausflugsschiff, Bug



Frachter, Blick von Bucht Orth



Frachter, Bugwelle



Tragflügel, Totalansicht

Schiffe



Ausflugsschiff, Heck



Ausflugsschiff, Totalansicht







Ausflugsschiff, Hainburger Brücke

#### Methodik



Hub, Strömungssensor, Stativ



Welle, Trübung



Wellen, Turbulenzen, Sediment



Sog- und Schwallwirkung



Punktbefischung



Sog- und Schwallmessung