

Universität zu Köln

Institut für Physik und ihre Didaktik

Masterarbeit

Physik im Kontext: "Das Leben der Tiere im Fluss"

Erstgutachter: Prof. Dr. André Bresges

Zweitgutachter: Prof. Dr. Andreas Schadschneider

Bianca Monika Hilger
Peter-Simons-Str. 10
53909 Zülpich

bianca.hilger@online.de

MA Lehramt an Gymnasien und Gesamtschulen
Matrikelnummer: 7318113

Datum der Abgabe: 24.08.2018

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	2
1 Einleitung	3
2 Motivation.....	5
3 Die Ökologische Rheinstation – ÖRS.....	7
3.1 Außerschulische Lernorte	10
4 Fische im Rhein	12
4.1 Der Rhein.....	12
4.2 Die Grundel	15
4.3 Die Barbe.....	18
4.4 Der Hecht	20
5 Physikalische Limnologie.....	24
5.1 Schwimmblase	24
Physikalische Ergänzungen	31
5.2 Seitenlinienorgan	37
5.3 Andere Sinne und Wahrnehmungsorgane.....	40
5.4 Die Schwimmbewegung von Fischen.....	42
6 Didaktische Aspekte	44
6.1 Prä-Befragung	44
6.2 Didaktische Möglichkeiten	45
6.3 Ein Tag auf der Rheinstation aus Sicht der Physik	49
7 Ausblick	53
8 Fazit	55
Literaturverzeichnis.....	56
Abbildungsverzeichnis und Quellen.....	60
Anhang	61
Erlaubnis zur Veröffentlichung.....	64
Erklärung der Selbstständigkeit	65

1 Einleitung

In den vergangenen zwei Jahrzehnten hat die naturwissenschaftliche Didaktik an deutschen Schulen eine kleine Revolution durchlaufen. Mit den Ergebnissen der PISA-Studie wurde von vielen Seiten her eine Verbesserung gefordert. Unter anderem trat das fächerverbindende Lernen in das Bewusstsein der Lehrkräfte. Die Ökologische Rheinstation als Außerschulischer Lernort bietet eine starke Verknüpfung zwischen mehreren Naturwissenschaften, vorne weg der Biologie und der Physik, zweier Fächer, die auf den ersten Blick innerhalb der Schulmauern offenbar gar keine Schnittmenge haben.

Diese Arbeit verfolgt vor allem zwei Ziele:

Zum einen soll sie die Grundlage beziehungsweise das benötigte Wissen für aufbauende Projekte an der Ökologischen Rheinstation liefern. Diese Projekte sind zum Beispiel die Animation des Rheinbettes mit den Tieren und Pflanzen sowie dem Boden und den Schiffen etc. und weiterhin andere (Abschluss-)Arbeiten, die andere Aspekte betrachten, als die in dieser Arbeit. In Kapitel 4 werden drei der im Rhein vorkommenden Fische sehr ausführlich beschrieben, an ihnen sollen sich die Animationen der Fische orientieren können.

Das zweite Ziel ist es, einen Teil zum fachlichen Fundament der Naturwissenschaften und Limnophysik beizutragen und erste Ideen für didaktische Umsetzungen zu geben. Damit wird aufgezeigt, dass hier lebende Systeme und die Physik lebender Systeme betrachtet werden. Die Physik ist ein Grundbaustein für das Verstehen anderer Naturwissenschaften.

Hervorgerufen durch den Wunsch, am Außerschulischen Lernort *Ökologische Rheinstation* (siehe Kapitel 3) einige attraktive, physikalische oder fachübergreifende Lernangebote bereitzustellen und diese ebenfalls immer weiter zu verbessern, ist diese Masterarbeit als ein Grundstein für dieses Projekt anzusehen.

Die Arbeit gliedert sich in drei große Teile:

Zunächst wird dargelegt, was die Ökologische Rheinstation ist und was sie zu einem Außerschulischen Lernort macht.

Danach wird über den Rhein und die Fische Grundel, Barbe und Hecht sowie deren Lebensraum geschrieben. Außerdem werden die Funktion von Seitenlinienorgan und Schwimmblase sowie die Schwimmbewegung von Fischen beschrieben. Dies alles sind Faktoren, die in der Animation umgesetzt werden können.

Der letzte Teil ist eine skizzierte fachdidaktische Betrachtung einzelner Themen aus dem vorangegangenen Teil.

2 Motivation

Flüsse und Seen prägen das geographische Bild Deutschlands und gestalten fortwährend die natürliche Landschaft. Auch der Mensch nutzt seit Jahrhunderten die Kraft fließender Gewässer, um sie in der Industrie einzusetzen. Bestimmte Fabriken, beispielsweise Papierfabriken sind stets direkt an Bächen oder Flüssen angesiedelt. Mit zunehmender Industrialisierung begann die menschliche Zivilisation sogar in deren natürlichen Verlauf einzugreifen. Doch diese Formung von künstlichen Gewässern erstreckt sich auch auf stehende Gewässer. Besonders im westlichen Rheinland ist die Landschaft von künstlichen Seen geprägt, die durch die Einleitung von Flusswasser in stillgelegte Tagebauten der Braunkohleindustrie erzeugt wurden. Gleichzeitig wird für neue Tagebaugruben der Grundwasserspiegel durch aktives Abpumpen des Grundwassers gesenkt, was einen direkten Einfluss auf umliegende natürliche Flüsse und Seen und deren Ökosystem hat.

Bei den bereits genannten Gewässern handelt es sich zum Teil auch um Süßwasservorräte, die als Trinkwasserquellen genutzt werden. Ebenso dienen sie uns als Naherholungsgebiete, da sie meist in einer ruhigen Umgebung liegen. Sie bieten Möglichkeiten zum Spaziergehen, Baden oder Angeln sowie weiteren z.B. sportlichen Aktivitäten. So hat der Mensch enormen Einfluss auf die natürlichen Gewässer, welche aber ebenfalls Einfluss auf den Menschen haben. Deshalb muss diese Wechselwirkung im Einklang mit dem Ökosystem stehen, was nur möglich ist, wenn man das Ökosystem und die entsprechenden Prozesse darin genau versteht.

Die Limnologie beschäftigt sich ursprünglich mit der Lehre von Seen, jedoch sind auch fließende Gewässer eines ihrer Teilgebiete. Der Begriff Limnologie setzt sich aus den griechischen Worten *limne* und *logos* zusammen, was übersetzt die Lehre vom See bedeutet. Sie ist in erster Linie biologisch ausgerichtet, jedoch finden auch die Fachgebiete der Physik, Chemie und Geologie Berücksichtigung. Eine wichtige Säule der Limnologie stellt dabei vor allem die Limnophysik dar.

In Seen sind die wichtigen Prozesse zum Beispiel das Mischungsverhalten (Durchmischung der Wasserschichten), die Sauerstoffverteilung oder teilweise auch der Wasserzufluss. In Flüssen sind es Vorgänge wie Strömung und

Fließgeschwindigkeit. Beide Fälle haben gemein, dass auch die Lebewesen im Gewässer – deren Lebensweise und Lebensräume – ebenso zum Bereich der Limnologie gehören, davon beeinflusst werden.

Zwar setzt sich die Limnophysik vordergründig mit der physikalischen Struktur und den physikalischen Prozessen auseinander, jedoch ist es von großer Bedeutung, nicht ein einzelnes Fach klar von anderen Fächern abzugrenzen, sondern die Verbindung zwischen den Bereichen nicht außer Acht zu lassen, sodass man auch andere Zusammenhänge zwischen allen Naturwissenschaften und der Limnologie betrachten muss.

Deshalb wird in dieser Arbeit das Leben der Tiere im Fluss aus physikalischer und limnologischer Sicht behandelt.

Für mich ist es von persönlichem Interesse, diese Masterarbeit in diesem Rahmen zu schreiben. Sowohl im zweiten als auch im dritten Mastersemester habe ich im Zuge verschiedener Module Projekte an und für die Ökologische Rheinstation entwickelt. Das erste war ein Vortrag mit Praxisteil, der zum Bereich der Geophysik gehört. Im Semester darauf haben drei meiner Kommilitoninnen und Kommilitonen und ich einen Film und ein zugehöriges Experiment entwickelt. Dabei wird die am Boot vorbeifließende Wassermenge mit Hilfe alltäglicher Gegenstände gemessen, der zugehörige Film dient als Erläuterung dazu. So ist es ein passender Abschluss meines Masterstudiums, mich mit der Ökologischen Rheinstation auseinanderzusetzen und eine Grundlage für weitere Projekte zu schaffen.

3 Die Ökologische Rheinstation – ÖRS

Das Gebäude Nr. 847 der Universität zu Köln befindet sich nicht in der Nähe der anderen Gebäude der Universität, ebenfalls nicht im Stadtteil Sülz oder in Lindenthal bei der Vielzahl der Universitätsgebäude. Um genau zu sein steht dieses Gebäude gar nicht auf festem Boden, sondern es handelt sich dabei um das Bootshaus mit der Ökologischen Rheinstation und der Ruderbasis des Unisports.

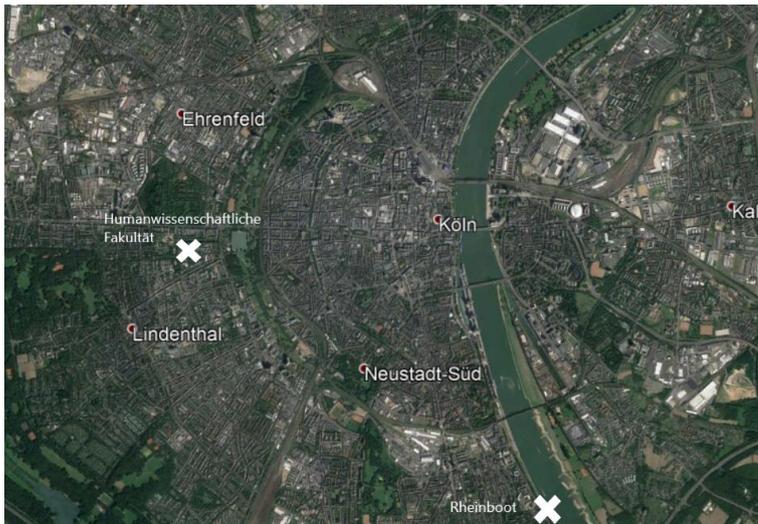


Abbildung 1: Karte der Stadt Köln, es sind die Humanwissenschaftliche Fakultät und die Anlagestelle der ÖRS markiert



Abbildung 2: Die Ökologische Rheinstation

Im Jahr 1953 wurde aus zwei alten Rheinschiffen das Bootshaus zusammengesetzt, es hat nun eine Länge von 60m und eine Breite von 11m, wobei der vordere Teil von der *Baden 24* aus dem Jahr 1885 und der hintere Teil von der *Desdemona* aus dem Jahr 1912 stammt (vgl. Freimuth 2018). Neben seinen universitären Aufgaben dient die Ökologische Rheinstation als offizielle Anlegestelle für Rettungsboote der

Wasserschutzpolizei und der Rettungssanitäter, wenn diese Einsätze auf dem Rhein zu verrichten haben (vgl. ebd.).

Viele Räume der Ökologischen Rheinstation sind dem Organisationsbereich Ökologie des Zoologischen Instituts zugeordnet. Hier wird mit Fließwasserlaboren direkt am Lebensraum der Fische, Muscheln oder anderem geforscht. Im Bootshaus gibt es unter anderem einen Seminarraum, in dem Seminare und Vorlesungen gehalten werden und Praktika aus den verschiedensten Studiengängen der Biologie stattfinden. Die Ökologische Rheinstation dient (wie es in Kapitel 2 schon ersichtlich war) der Fachdidaktik Biologie auch als Außerschulischer Lernort zum Thema „Umwelterziehung im Biologieunterricht“ (ebd.).

Sogar aus dem Englischen Seminar der Philosophischen Fakultät wurde Material für eine bilinguale Unterrichtsstunde auf der Ökologischen Rheinstation entwickelt (vgl. ebd.).

Festzuhalten ist, dass die biologische Forschung sowie die Nutzung als Außerschulischer Lernort für das Fach Biologie, auch in Kooperation mit anderen Fachbereichen, eine sinnhafte und ertragreiche Nutzung dieses einzigartigen Ortes und seiner Eigenschaften ist.

Allerdings sind die Lebensumgebung und das Ökosystem Rhein auch für andere Naturwissenschaften von großem Interesse. Wasserzusammensetzung, die Beschaffenheit des Flussbettes und seine Veränderung, der Einfluss von Strömung und Fließgeschwindigkeit, sowie der Sauerstoffgehalt und Durchmischung sind Aspekte, die charakteristischerweise von geologischem, geographischem, chemischem oder physikalischem Interesse sind und Interdependenzen unterliegen. Wie bei vielen Themengebieten darf hier nicht genau nach den Fächern unterschieden werden, da sie verschiedene Zugänge ausweisen. Ein Beispiel für das Zusammenspiel verschiedener Naturwissenschaften ist das Hjulström-Diagramm. Es ist ein klassisch geographisches Diagramm, zeigt allerdings ebenfalls viele für die Physik oder Biologie wichtigen Informationen auf.

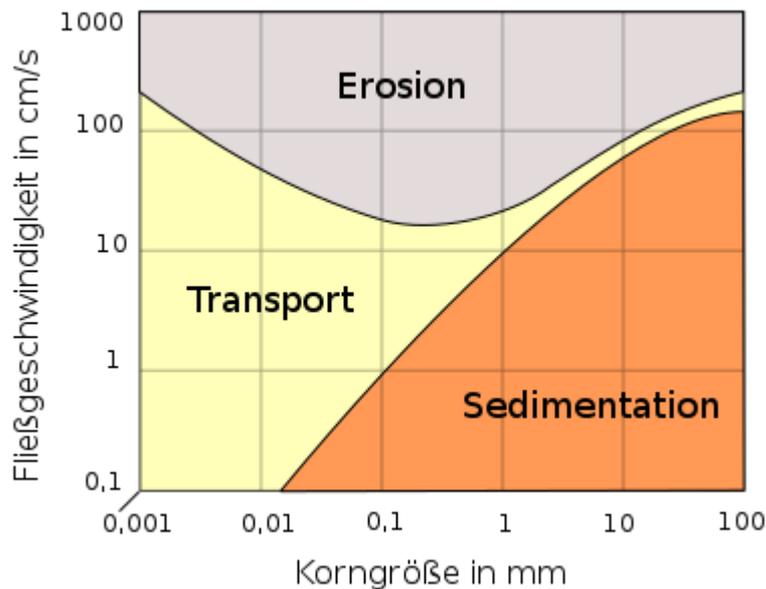


Abbildung 3: Hjulström-Diagramm

Das Hjulström-Diagramm stellt den Zusammenhang zwischen Korngröße (in mm) und Fließgeschwindigkeit (in cm/s) dar, zudem sind im Diagramm Bereiche der Erosion des Transport und der Sedimentation markiert. Werden Steine transportiert und an einen anderen Ort gebracht, ändert sich an der Stelle des Abtransports und der Sedimentation der Lebensraum vieler Tiere im Fluss, was eine biologisch wichtige Information ist. Physikalisch kann dabei nun die Fließgeschwindigkeit und ihre Auswirkung auf die Strömung am Flussufer betrachtet werden.

Seitens der Physik wurden schon verschiedene Experimente und Lernstationen für Schülergruppen an der Ökologischen Rheinstation aufgebaut und getestet. Dazu zählt zu allererst der Strömungskanal im Bootskeller, der Teil des *Science Lab Rheinstation* ist. Aus einem Vorratsbehälter wird durch eine Pumpe Wasser durch diesen Kanal gepumpt. Es gibt darin eine Vorrichtung zur Befestigung von Materialien, zum Beispiel können dort modellierte Fische oder Schiffsrümpfe angebracht und es kann vermessen werden, welchen Strömungswiderstand das Modell hat. So wird das Verständnis für Hydrodynamik gefördert. Ebenfalls wurde ein Windkanal aufgebaut sowie eine Station zum Messen der vorbeiströmenden Wassermenge mit alltäglichen Mitteln. Diese genannten Stationen sind schüleraktivierend aufgebaut, um die Ökologische Rheinstation als Außerschulischen Lernort vom *normalen* Lernen in der Schule zu unterscheiden.

3.1 Außerschulische Lernorte

Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Rheinstation dient zwar in erster Linie den verschiedenen Fakultäten der Universität als Labor und zur Aus- und Weiterbildung von (Lehramts-)Studierenden, jedoch handelt es sich ebenfalls um einen außerschulischen Lernort. Welche Kriterien eine solche Einrichtung kennzeichnen und welchen Zweck sie erfüllt, soll nun erläutert werden.

Allgemein ist jegliche Lerngelegenheit, die sich fernab der Institution Schule befindet ein außerschulischer Lernort. Auf Grund des breiten Spektrums an schulischen Fächern und den Einrichtungen, die für besagte Fächer einen geeigneten Kontext bieten, gibt es in der Literatur keine absolute Definition für den Begriff des außerschulischen Lernens oder für die genauen Kriterien, die erfüllt werden sollen (vgl. Sauerborn/ Brühne 2012, S. 17, S. 25 f.). Betrieben werden diese Lernangebote vornehmlich von Universitäten, Museen und Vertretern der Wirtschaft (vgl. Kircher et al. 2009, S. 800). Das Rheinboot bietet solche Lerngelegenheiten für unterschiedliche Fächer, z.B. Geologie, Biologie und Physik. Damit gehört die Station zu einer besonderen Art der außerschulischen Lernorte, nämlich den Schülerlaboren. Diese zeichnen sich dadurch aus, dass sie der Vermittlung der sogenannten MINT-Fächer (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft, Technik) dienen (vgl. ebd., S. 799 f.).

In diesen lebensweltnahen Institutionen sollen Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit erhalten, sich intensiv mit den Inhalten der besagten Fächer auseinanderzusetzen, ihr Interesse soll gefördert werden und sie sollen einen Einblick in die Tätigkeiten des jeweiligen Bereiches erhalten (vgl. ebd., S. 801). Warum genau solche Außerschulischen Lernorte und vor allem Schülerlabore ihren Nutzen haben, soll im Folgenden begründet werden.

Das vornehmliche Ziel der Schülerlabore ist es, junge Menschen für die MINT-Fächer und die Berufe in diesem Bereich zu begeistern (vgl. ebd., S. 801). Durch den Schock, der im Jahre 2000 das Bildungssystem erschüttert hat – den sogenannten PISA-Schock – mussten Veränderungen in diesem System vorgenommen werden. Leider zählt die Physik (und auch die anderen MINT-Fächer mit Ausnahme der Biologie) zu den weniger beliebten Schulfächern (vgl. ebd., S. 816). Schülerlabore und (allgemein)

Außerschulische Lernorte sollen die Beliebtheit dieser Fächer wieder steigern, sodass es nunmehr etwas mehr als 200 dieser Labore gibt, welche neben dem außerschulischen Lernen auch der Aus- und Weiterbildung von Lehramtsstudierenden dienen (vgl. ebd., S. 800). Folgende drei Leitgedanken haben Außerschulische Lernorte mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt gemein:

- Förderung von Interesse und Aufgeschlossenheit von Kindern und Jugendlichen für Naturwissenschaft und Technik.
- Vermittlung eines zeitgemäßen Bildes dieser Fächer und ihrer Bedeutung für unsere Gesellschaft und deren Entwicklung.
- Ermöglichen von Einblicken in Tätigkeiten und Berufsbilder im naturwissenschaftlichen und technischen Bereich. (ebd., S. 801)

Auf diese Aspekte sollte beim Gestalten der Lernumgebung geachtet werden. Des Weiteren bieten Außerschulische Lernorte die Möglichkeit des Forschenden Lernens, was vor allem das Interesse am Fach verbessern soll (vgl. ebd., S. 814). Auch das Arbeiten in Gruppen und vernetztes Denken sowie fächerübergreifendes Lernen sind zentrale Aspekte Außerschulischer Lernorte (vgl. Sauerborn/ Brühne 2012, S. 17).

Ein großer Nachteil dieses Konzeptes ist der für die Lehrkräfte große Aufwand, die die inhaltliche und schulrechtliche Vor- und Nachbereitung übernehmen müssen. Die Exkursion muss geplant, von der Schulleitung genehmigt und mit den Schülerinnen und Schülern besprochen werden (vgl. ebd., S. 17). Und sicherlich ist – trotz intensiver Nachbereitung – die langfristige Wirkung außerschulischen Lernens nicht immer gleich und teilweise verblasen das erlernte Fachwissen und die Kompetenzen (vgl. Kircher et al. 2009, S. 807).

Jedoch zeigen Untersuchungen mehrere Monate nach dem Besuch eines Schülerlabors, dass nachhaltige Prozesse in Gang gesetzt wurden und sie so eine positive Wirkung auf Schülerinnen und Schüler haben können (vgl. ebd., S. 807).

4 Fische im Rhein

In diesem Kapitel wird vor allem auf die Fische Schwarzmundgrundel, Barbe und Hecht eingegangen, die im Rhein (bei Köln) heimisch sind. Ebenfalls wird die Veränderung des Ökosystems Rheins betrachtet.

4.1 Der Rhein

Die Fischfauna des Rheins war vor dessen Begradigung und den weiteren Eingriffen in seine Struktur sehr vielfältig – historische Aufzeichnungen zeigen 43 Arten auf, die ursprünglich im Niederrhein vorkamen (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J.).

Doch der ursprüngliche Fluss wurde begradigt, seine Ufer teilweise steiler gemacht, Maßnahmen zum Hochwasserschutz vorgenommen und im Zuge dessen auch Überschwemmungsgebiete zur Landnutzung umfunktioniert (vgl. ebd.). Wie in Kapitel 4.4 dargestellt, ist das ein möglicher Grund dafür, dass der Hecht Schwierigkeiten in seinem Lebensumfeld bekommt (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2018). Mit zunehmender Industrialisierung wurde der Rhein immer mehr als Transportweg genutzt, die Schiffe wurden größer, beförderten mehr und schwere Ladung und mussten schneller die gewünschte Strecke überwinden. Auch sonst musste der Rhein den Menschen weichen, bzw. wurde durch sie in ein graderes, engeres Flussbett gedrängt, was ganz ohne Zweifel seine Fließgeschwindigkeit erheblich erhöht.

Von den ursprünglich 43 Arten im Rhein wurden zwischen 1880 und 1950 nur noch 30 gezählt (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J.). Dies lag neben den Regulierungs- und Baumaßnahmen auch an der zunehmenden Verschmutzung durch industrielle Abwässer. Dies besserte sich auch in den Nachkriegsjahren nicht, so dass in den 60er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts die Berufsfischerei dort nahezu erlosch (vgl. ebd.). In den 60er- und 70er-Jahren sind neben den Industrieabwässern auch weitere, private Abwässer in den Rhein geleitet worden (vgl. Dumke 2015). Dies führte zu einem weiteren Rückgang der Arten, sodass zwischen 1950 und 1975 nur noch 28 Arten belegbar waren, deren Bestände, neben der geringeren Artenvielfalt, ebenfalls rückläufig waren (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J.).

Verschmutztes Wasser, eine schnellere Strömung und wenig Rückzugsmöglichkeiten erschweren die Lebensbedingungen einiger Fischarten. In den folgenden Unterkapiteln wird unter anderem die Barbe beschrieben, sie lebt in der sogenannten Barbenregion, welche von stark unterschiedlichen Strömungen gekennzeichnet ist. Die Barbe kommt mit der Strömung gut zurecht, jedoch bevorzugt sie sauberes Wasser (Schönborn/Risse-Buhl 2013, S. 106). Ebenfalls wird der Hecht in einem der folgenden Unterkapitel behandelt, er braucht zum Laichen Plätze mit wenig Strömung, zum Beispiel Flussauen oder überschwemmte Gebiete, eben solche, wie es sie durch die Begradigung weniger gibt (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2018).

Der Rhein entspringt in den Schweizer Alpen, verläuft den größten Teil seiner Strecke durch Deutschland und mündet in den Niederlanden in die Nordsee. Da er die längste Strecke durch Deutschland fließt, ist es naheliegend, dass der NABU (Naturschutzbund Deutschland e.V.) einige Projekte zur Renaturierung des Rheins begründet hat (vgl. Markgraf-Maué o.J.). Zur Verbesserung der Wasserqualität tragen Kläranlagen und weitere Bestimmungen zum Abführen von Abwasser bei, Renaturierungsmaßnahmen am Ufer geben den Fischen ihren Lebensraum zurück (vgl. Dumke 2015). Des Weiteren gab es Wiederansiedlungsprojekte wie das Wanderfischprogramm des Ministeriums für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (vgl. Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen o.J.). Dieses siedelt Wanderfische (z.B. Lachs, Maifisch und Aal) wieder in Flüssen NRWs an, sodass diese Fische auch schon durch neuere Bestandserhebungen nachgewiesen werden konnten (vgl. ebd., Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J.). Auch sonst sind heute wieder mehr als 40 Arten im Rhein heimisch, darunter viele der ursprünglichen Arten sowie einige, die im Laufe der letzten 150 Jahre neu zugewandert sind (vgl. ebd.). Als Beispiele sind hier der Zander zu nennen, der ca. 1880 heimisch wurde, oder die vier Grundelarten, die in den 2000er Jahren nachgewiesen wurden, und seitdem fest im Rhein etabliert sind (vgl. ebd.). Nur der Stör ist seit seinem Verschwinden aus dem Rhein dort nicht mehr gesichtet worden (vgl. Hofsähs 2014). Krautlaichende und stillwasserliebende Arten, wie zum Beispiel der Hecht (Kapitel 4.4) sind immer noch selten. Das hängt damit zusammen, dass die Renaturierungsmaßnahmen noch nicht

abgeschlossen sind und der ehemalige und unberührte Zustand nicht wieder hergestellt wird und werden kann (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J.). Die Bestandsaufnahmen erfolgten durch die Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW und freiwillige Helfer, die ihre gefangenen Fische gemeldet haben.

Eine der erfolgten Maßnahmen zur Veränderung des Rheins sind Buhnen. Eine Buhne ist ein rechtwinklig zum Flussufer angelegter, manchmal leicht gegen die Strömung geneigter Damm. Sie sollen zum einen heimischen Arten dienen und so zur Renaturierung beitragen. Zum anderen dienen sie der Fahrrinnenvertiefung, indem bei Anlegen der Buhnen zunächst der Wasserstand steigt und sich im weiteren zeitlichen Verlauf die Fahrrinne vertieft, weil die Sediment von der Flussmitte zum Flussufer getragen werden, dadurch erhöht sich auch die Fließgeschwindigkeit in der Mitte des Flusses.

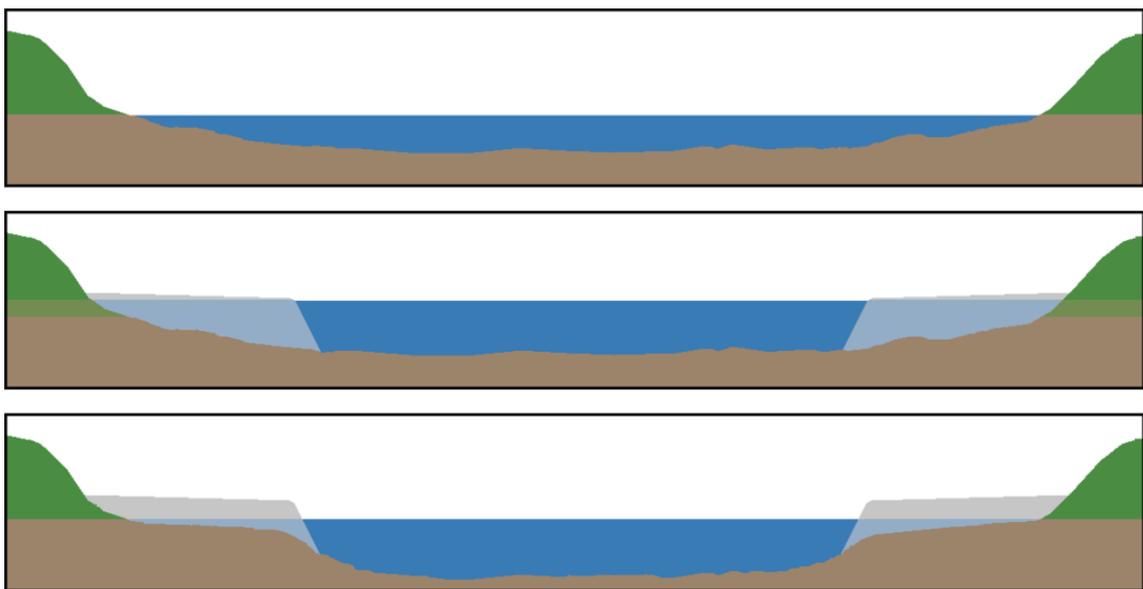


Abbildung 4: Wirkung von Buhnen auf die Fahrrinntiefe und den Wasserpegel

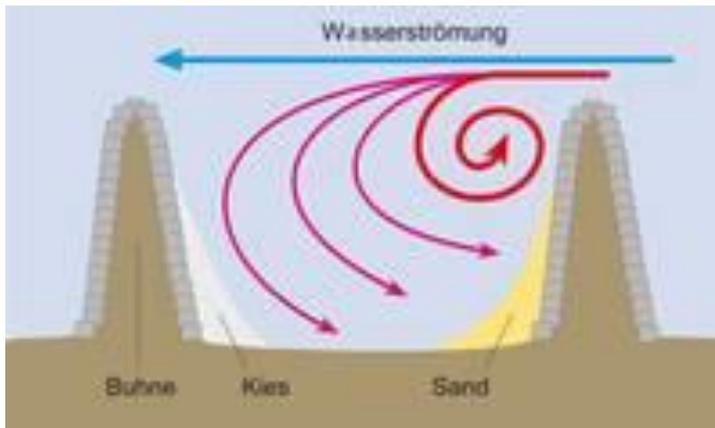


Abbildung 5: Zwei Buhnen mit der Strömung, den entstehenden Verwirbelungen und den daraus resultierenden Sedimentablagerungen

Ein letzter Vermerk gilt der Fischerei am Rhein. Zwar gibt es noch viele private Angler am Rhein, jedoch keine Berufsfischer mehr, wie es sie bis in die 1960er Jahre noch gab (vgl. ebd.).

Weiterhin ist zu beachten, dass viele der geangelteten Fische verzehrt werden (können). Lediglich für den Rheinaal gibt es seit 2003 eine Warnung, denn das Fett in seinem Fleisch speichert Toxine aus der Umwelt und ist daher ungesund für den Menschen (vgl. Hofähs 2014).

4.2 Die Grundel

Bei den Grundeln (Gobiidae) handelt es sich um Knochenfische. In diesem Kapitel wird vor allem die Schwarzmundgrundel (*Neogobius melanostomus*) in den Fokus genommen, da sie im Rhein stark vertreten ist (vgl. rheinfischerei-nrw.de). Schwarzmundgrundeln (oder auch Schwarzmaulgrundeln) werden bis zu 15cm groß und im Regelfall bis zu 4 Jahren alt (vor allem die Weibchen), ihre durchschnittliche Lebensdauer beträgt 3-4 Jahre (vgl. Neukamm 2018). Sie sind von eher unauffälliger Färbung (in tarnendem Braun an der Oberseite gemustert, mit weißlicher Unterseite), jedoch nehmen die Männchen in der Brutzeit (April bis September) eine dunkle bis schwarze Färbung an. Die unauffällige Färbung dient der Tarnung. Die Schwarzmundgrundel ähnelt von oben betrachtet optisch dem Boden und von unten betrachtet ist sie vor der hellen Wasseroberfläche auch schwierig zu erkennen, sodass sie vor Fressfeinden geschützt ist.



Abbildung 6: Schwarzmundgrundel

Im Querschnitt ist sie rundlich, auch ihr Kopf ist rundlich mit tiefliegendem, endständigen¹ Maul und auf der Oberseite des Kopfes sitzen leicht herausragende Augen. Auf dem Rücken hat sie zwei Flossen, an der vorderen Rückenflosse hat sie einen markanten schwarzen Fleck, die Bauchflossen sind zu einer (weißlichen) Saugscheibe verwachsen, die Afterflosse liegt gegenüber der hinteren Rückenflosse und die Schwanzflosse ist symmetrisch und abgerundet (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (b) o.J.). Die Bauchflosse, die zur Saugscheibe evolviert ist, hilft der Schwarzmundgrundel sich an Steinen festzusaugen und so der Strömung zu trotzen.

Ursprünglich stammt sie aus der Region Pontokaspis (Schwarzes Meer und Kaspisches Meer) (vgl. rheinfischerei-nrw.de). Ebenso wie andere Wasserlebewesen sind es von dort ausgehende invasive Neozoen, die sich teilweise bis nach Amerika verbreitet haben (vgl. Wiesner et al. 2003, S. 102 ff., Gllardo/ Aldridge 2014 o.S.). Vermutlich wurde die Schwarzmundgrundel über das Bugwasser der Schiffe auf dem Rhein-Main-Donau-Kanal nach Deutschland gebracht (vgl. Frech 2016). Haben sich die Schwarzmundgrundeln einmal etabliert, so vermehren sie sich und werden wie im Rhein zur dominanten Fischart. Im Rhein besteht der Angler- und Fischereifang heute zahlenmäßig zu etwa 60% aus Grundeln (vgl. ebd.). Vor 15 Jahren war, den Angaben

¹ Endständiges Maul: Ober- und Unterkiefer sind gleich lang, das Maul befindet sich an der Spitze der Schnauze (zu unterscheiden von: oberständigem und unterständigem Maul, welche nach oben bzw. unten gerichtet sind).

von Matthias Sommer von der Rheinfischereigenossenschaft NRW zufolge, noch keine Grundel vorhanden (vgl. ebd.). Hier wird die gesamte Gattung der Grundeln betrachtet, jedoch dominiert die Schwarzmundgrundel über die anderen Grundelarten. Der erste Nachweis einer Schwarzmundgrundel durch die Rheinfischereigenossenschaft geschah im August 2008 auf der Höhe Dormagen (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (b) o.J.).

Die Größe der Schwarzmundgrundel ist abhängig von ihrer ökologischen Nische und den abiotischen Faktoren wie Populationsgröße, Konkurrenz und den aus ihrem Lebensraum folgenden Auswirkungen auf das Nahrungsmittelangebot, sodass die im Rhein untersuchten Schwarzmundgrundeln etwa $8,8 \pm 1,1$ cm groß sind (vgl. Gertzen 2016, S. 17). Betrachtet man also die Masse der geangelten Fische, so machen die vergleichsweise kleinen Grundeln etwa 4% der geangelten Fischmasse aus (vgl. Frech 2016).

Zwar hat sich die Zusammensetzung der Arten in den letzten Jahren verändert, auch hat sich die Artenvielfalt verringert, dennoch gibt es eine Fischart, die sich schon jetzt dem Neozoen angepasst hat; die Grundel ist ein Teil der Beute des Zanders, der ebenfalls im Rhein lebt (vgl. Südwestrundfunk 2018). Und es gibt laut dem Präsidenten des Landesfischereiverbandes Rheinland-Pfalz einen starken Anstieg von möglichen Fressfeinden der Schwarzmundgrundel, das sind zum einen Barsche, zum anderen kann die Grundel auch für Hechte eine passende Nahrung sein (vgl. ebd.).

Die Schwarzmundgrundel bevorzugt Brack- oder Süßwasser als ihren Lebensraum und hält sich größtenteils bodennah in flachen Gewässern auf, die einen steinigen Grund und eine geringe Strömung haben (vgl. Neukamm 2018). Diese Stellen sind im Rhein vor allem an den (künstlich angelegten) Buhnen zu finden.

Am Boden ernähren sich Schwarzmundgrundeln vorwiegend von Muscheln, Würmern und Krebsen, jedoch auch gelegentlich von Fischlaich (vgl. ebd.). Ihre eigene Laichzeit liegt zwischen Frühling und Spätsommer, wobei die durchschnittliche Eizahl mit 100-5000 Eier pro Weibchen angegeben wird (vgl. ebd.). Die Eier werden in einer Art Nest

abgelegt, welches durch ein Männchen bewacht wird, das im Anschluss daran stirbt (vgl. ebd.).

(Schwarzmund-)Grundeln sind keine guten Schwimmer, was unter Anderem an ihrer fehlenden Schwimmblase liegt, sodass sie keinen Auftrieb erhält (vgl. Hagenmaier 1997, S. 5). Ihr (runder bis) zylinderförmiger Körperbau ist nicht optimal, um sich im Wasser fortzubewegen. Ebenso sind ihre vergleichsweise kleinen Flossen und vor allem die verwachsene Bauchflosse nicht für den Vortrieb, sondern mehr für das Festsaugen am Boden gemacht.

Auch mangelt es Grundeln an einem Seitenlinienorgan, sodass ihre Orientierung im umgebenden Wasser mäßig ist (vgl. Mattern 2015, o.S.). Dies ist ein weiterer Grund, weshalb sie sich vor allem am Boden zwischen Steinen aufhalten, da sie dort genauso agieren können, wie andere Fische mit Seitenlinienorgan, denn direkt neben Steinen helfen Seitenlinienorgane nur wenig.

Trotz ihrer geringen Größe gilt die Schwarzmundgrundel als Speisefisch, auch wenn der Ertrag beim Fang von Grundeln gering ist.

4.3 Die Barbe

Die Barbe ist ebenfalls ein Knochenfisch und zählt zur Ordnung der Karpfenartigen und zur Familie der Karpfenfische. Ihr lateinischer Name ist *Barbus barbus* (Schönborn/Risse-Buhl 2013, S. 106). Barben sind europäische Süßwasserfische, die meist in strömungsreichen Flüssen (bzw. in solchen mit variierender Strömung) leben, weshalb sie auch Flussbarben genannt werden (ebd., S. 106). Im Jahre 2003 wurde sie zum Fisch des Jahres gekürt. Dieser Titel geht an Arten, die vom Aussterben bedroht sind oder anderweitig beeinträchtigt werden und Schutz brauchen (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2018). Seit 2014 gilt sie laut *International Union for Conservation of Nature* (IUCN) als nicht mehr gefährdet (least concern) (vgl. Freyhof 2011).



Abbildung 7: Barbe

Ausgewachsene Barben haben einen geraden weißen Bauch, helle Seiten und einen graugrünen, leicht gewölbten Rücken, sie werden 1-3kg schwer und durchschnittlich zwischen 25 und 75cm groß (vgl. Fröhlich o.J.). Für Angler ist die Barbe ein interessanter Fisch, weil sie nur an ganz bestimmten Orten gefangen werden kann, so gibt es rege Diskussionen über die möglichst besten Fangmethoden (vgl. Berding 2017). Barben sind unter anderem auch an der Strömungskante und am Bühnenkopf zu finden, da sich dort in der Strömung wohl fühlen.

Entlang ihres Seitenlinienorgans hat sie 55 bis 65 mittelgroße Schuppen, am Kopf hat sie vier Barteln (vgl. WESO Software GmbH (a) o.J.). Sie hat eine Rückenflosse, eine Schwanzflosse, Afterflosse, Bauchflosse und Brustflosse, diese letzten drei sowie der untere Teil der Schwanzflosse können rötlich sein, die Rückenflosse und der obere Teil der Schwanzflosse sind farblos oder grünlich (vgl. Fröhlich o.J.). Barben sind muskulös und stark genug, um auch mit starken Strömungen umgehen zu können (vgl. ebd.).

Die Barbe ist ein stenöker Fisch (er weist einen geringen Toleranzbereich bezüglich mancher Umweltfaktoren auf) und bevorzugt als Lebensraum fließende Gewässer mit einem hohen Sauerstoffgehalt (stenooxygen) (vgl. WESO Software GmbH (a) o.J.). Strömung und klares Wasser sind für sie sehr wichtig. Die Barbe lebt am sandigen und kiesigen Boden (vgl. Fröhlich o.J.). Gerade wegen ihres geringen Toleranzbereiches hinsichtlich Wassertemperatur und Sauerstoffgehalt, hat sie sich mit ihrer Muskulatur an starke Strömungen evolviert, da gerade diese starke Strömung eine möglichst

konstante Temperatur und hohen Sauerstoffgehalt mit sich bringt. Stenöke Fische können als Zeigearten genutzt werden, da sie charakteristischerweise in bestimmten Biotopen vorkommen, bei der Barbe ist es die daher nach ihr benannte *Barbenregion*. Zunehmende Wasserverschmutzung setzt der Barbe stark zu. Die Schutzmaßnahmen zur Verbesserung der Wasserqualität, die vielerorts durchgeführt wurden, erhalten den Lebensraum der Barben (vgl. ebd.).

Barben sind soziale Fische, die in einer Gemeinschaft leben, deswegen kann man meistens mehrere Barben auf engem Raum beobachten (vgl. Berding 2017). Als omnivorer Fisch (Allesfresser) nutzt sie die vielfältigen Nahrungsquellen ihrer Umgebung (vgl. Fröhlich o.J.). Dabei frisst sie vor allem Kleintiere und Fischlaich, aber auch Muscheln, Würmer und Schnecken (vgl. ebd.). Große Barben jagen manchmal auch andere kleine Fische, ebenfalls fressen auch ausgewachsene Barben auch Pflanzliches, wie Algen (vgl. ebd.). Barben sind nachtaktive Fische, die am Tag ruhen und in der Nacht fressen, wenn andere Fische schlafen (vgl. ebd.). Im Gegensatz zur Grundel und wie im nachfolgenden Kapitel erklärt auch im Gegensatz zum Hecht ist die Barbe auffälliger gefärbt. Sie muss sich kaum vor Fressfeinden schützen, und, da sie nachtaktiv ist, wird sie von ihrer Beute so oder so nicht gesehen.

Zum Laichen suchen sie in großen Gruppen möglichst passende Stellen, das sind vor allem Stellen mit flachem Wasser und einem kiesigen Untergrund (vgl. WESO Software GmbH (a) o.J.). Die Laichzeit dauert von Mai bis Mitte Juli und ein Weibchen kann in dieser Zeit bis zu 9000 Eier legen (vgl. Fröhlich o.J.). Zur Laichzeit entwickeln die Männchen den für Barben typischen Laichaus Schlag, das sind in Reihen angeordnete weiße Knötchen im Kopf- und Nackenbereich (vgl. ebd.).

So wie die Grundel gilt auch die Barbe als Speisefisch. Allerdings ist zu beachten, dass die Rogen der Barbe und ihr Bauchfleisch für den Menschen sowohl roh als auch gekocht gesundheitsschädlich sind (vgl. WESO Software GmbH (a) o.J.).

4.4 Der Hecht

Der Hecht (*Esox lucius*) ist ein Raubfisch, der in Brack- und Süßwassern weit verbreitet ist, er lebt vor allem auf der nördlichen Hemisphäre: in Europa, Nordamerika und Nordasien, in Finnland ist er der zweithäufigste Fische nach dem Flussbarsch (vgl.

LuontoPortti/ NatureGate 2018). Wie die Barbe wurde er zum Fisch des Jahres (2016) gewählt (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2016, S. 1). Für Angler ist der Fisch sehr interessant, da er als Speisefisch genutzt wird, allerdings kann er aufgrund seiner Aggressivität nur schwierig gezüchtet werden (vgl. WESO Software GmbH (b) o.J.). Sein Körperbau zeigt den eines Räubers auf, er ist langgestreckt, torpedo- bzw. spindelförmig, mit einem vergleichsweise langen Kopf und einem oberständigem² Maul (vgl. Gunter 2017). Weibliche Hechte werden bis zu 1,5m, männliche Hechte bis zu 1m groß, durchschnittlich werden sie bis zu 15kg schwer (vgl. LuontoPortti/ NatureGate 2018, WESO Software GmbH (b) o.J.). Rücken- und Afterflosse des Hechtes sind nach hinten versetzt und die Bauchflossen relativ klein, am Rücken ist der Hecht dunkel, am Bauch ist er hell (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2016, S. 11).

Der Hecht scheint also ähnlich gefärbt zu sein wie die Grundel, jedoch aus einem anderen Grund. Die Grundel hat diese Färbung zum Schutz vor Fressfeinden, der Hecht ist so gefärbt, damit seine Beute ihn nicht ankommen sieht. Auch die Augen des Hechts weisen typische Merkmale eines Räubers auf. Sie sind nicht, wie bei den meisten Fischen, zur Seite sondern nach vorne gerichtet, so können sie ihre Beute lange im Blick halten und sich gut auf sie fokussieren. Die Zähne im Maul sind nach hinten gerichtet, sodass einmal gefangene Beute nur schwerlich wieder fliehen kann (dies gilt auch für Hände) (vgl. ebd. 2016, S. 11). Im Kiefer hat der Hecht (so wie in seinem Seitenlinienorgan, Kapitel 5.2) druckempfindliche Sinnesporen; entlang seines Seitenlinienorgans hat er 110 bis 130 kleine Schuppen (vgl. ebd. 2016, S. 11).



Abbildung 8: Hecht

² Oberständiges Maul: Der Unterkiefer ist länger als der Oberkiefer, das Maul zeigt nach oben (zu unterscheiden von: endständigem und unterständigem Maul, welche nach vorne bzw. unten gerichtet sind).

Hechte leben standorttreu in Flüssen oder stehenden Gewässern in Ufernähe, wo sie sich häufig im Schilf aufhalten (vgl. Gunter 2017). Dort, im flachen Bereich, wärmt sich das Wasser bei Sonneneinstrahlung schneller auf, was vor allem den Jungtieren zugutekommt, da dadurch ihr Nahrungsangebot wächst (vgl. ebd.). Durch die zunehmende Uferbegradigung fehlt es den Hechten an Lebensräumen, sie haben weniger Laichplätze (s.u.) und können sich weniger im Schilf oder anderen Deckungsmöglichkeiten in Ufernähe aufhalten (vgl. ebd.).

Vor Beginn der Laichzeit buhlen die Männchen um die Weibchen, wobei es zu Kämpfen unter den Männchen kommt (vgl. Deutscher Angelfischerverband e.V. 2016, S. 12). Zum Laichen ziehen Hechte im frühen Frühjahr in flache Gewässer mit vielen Pflanzen, zum Beispiel in überschwemmte Wiesen, wo die Weibchen „zwischen 10 Eier/m² auf sandigem Untergrund und 730 Eier/m² auf überschwemmten Wiesen“ (ebd., S. 12) ablegen. Ihre Eier sind klebrig und haften an diesen ausgesuchten Stellen gut an Pflanzen oder am Boden, wo nach 10 bis 30 Tagen die Larven schlüpfen, die sich zunächst vom Dottersack und nach kurzer Zeit von tierischer Nahrung wie zum Beispiel Wasserflöhen ernähren (vgl. ebd., S. 12). Die ausbleibenden Überschwemmungen aufgrund von Regulierungsmaßnahmen und die Trockenlegung von Überschwemmungsgebieten vermindern die Anzahl der möglichen Laichplätze (vgl. ebd., S. 12). Dies ist, neben den fehlenden Deckungsmöglichkeiten für erwachsene Hechte, eine weitere Erklärung für den (lokal) langfristigen „mäßigen Rückgang der Bestände“ (vgl. Gunter 2017).

Die jungen Fische suchen schon früh nach tierischer Nahrung, auch ausgewachsene Hechte fressen tierische Nahrung, wie andere Fische und ebenfalls ihre eigenen Artgenossen (vgl. Landesfischereiverband Baden-Württemberg e.V. 2016). Ebenfalls fressen sie Küken, Frösche oder Wasserratten (vgl. ebd., LuontoPortti/ NatureGate 2018). Der Hecht ist ein sogenannter Ansitzjäger, er wartet versteckt und regungslos in Ufernähe, zum Beispiel im Schilf, auf seine Beute (vgl. Landesfischereiverband Baden-Württemberg e.V. 2016).

Durch die massiven Eingriffe ins Flussbett und die Fauna des Rheins sowie die Etablierung des Zanders (um 1880) wurde der Hecht als Raubfisch stark verdrängt und

der Bestand ist auch nach teilweiser Renaturierung des Rheins noch klein (jedoch aufsteigend) (vgl. Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a) o.J., Freundeskreis Aquazoo Düsseldorf 2017).

5 Physikalische Limnologie

Nachdem im vorangegangenen Kapitel drei der Fische, auf die man an der Ökologischen Rheinstation treffen kann, behandelt wurden, folgen nun die in Kapitel 2 erwähnten Themen, die für die physikalische Betrachtung der Limnologie eine Rolle spielen. Dazu zählen die Schwimmblase, das Seitenlinienorgan und die Fortbewegung der Fische im Wasser. Ein weiterer Aspekt aus der physikalischen Betrachtung der Limnologie ist zum Beispiel die Durchmischung von Wasser im Höhenprofil, welche allerdings in dieser Arbeit nicht behandelt wird, da keine direkte Verknüpfung zum Themengebiet der Fische besteht.

5.1 Schwimmblase

Im folgenden Teil werden zunächst die Grundlagen über die Schwimmblase (vor allem) von Fischen erläutert und ihre Funktionsweise beschrieben. Zunächst soll dabei auf die typologische Beschreibung eingegangen und so ein Grundverständnis geschaffen werden. Dabei wird auch erläutert, worauf in einem später eventuell zu realisierendem Programmierprojekt bei der Veranschaulichung der Schwimmblase und des Auftriebs der Fische geachtet werden sollte. Im Anschluss daran wird auf die dahinterliegende Physik insbesondere eingegangen, auf den Auftrieb und den hydrostatischen Druck.

Grundverständnis

Da Wasser eine spezifische Dichte von $1g/cm^3$ hat, sinken Körper mit einer größeren spezifischen Dichte ab und Körper mit einer geringeren spezifischen Dichte steigen zur Oberfläche. Anders gesagt: ist die Gewichtskraft größer als die Auftriebskraft, sinkt der Körper, ist die Gewichtskraft kleiner als die Auftriebskraft, steigt er. Es gibt noch weitere Faktoren, die beeinflussen, in welche Richtung sich ein Körper bewegt. Manche Kleinstlebewesen sind flach und haben eine große Oberfläche, um ihr Sinken im Wasser zu verlangsamen oder von einer Welle besser mitgetragen werden zu können (vgl. Hagenmaier 1997, S. 4). Handelt es sich bei dem Körper um ein Tier oder einen Menschen, so kann dieser Körper durch gezielte Bewegungen seinem Sinken oder Steigen entgegenwirken. Ein Taucher kann sich, wie von ihm selbst gewünscht, von der Wasserfläche weg- oder gezielt dort hinbewegen. Fische nutzen dafür ihre Flossen, mit denen sie ihre Bewegungen steuern.

Die Viskosität des Wassers hat weiterhin Einfluss auf die Geschwindigkeit, mit der ein Körper sinkt oder steigt. Wasser mit einer Temperatur von 20° hat eine geringere Viskosität ($\eta = 1,0 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) als Wasser mit einer Temperatur um den Gefrierpunkt ($\eta = 1,8 \text{ mPa} \cdot \text{s}$) (Tipler/ Mosca 2004, S. 414).

Mit steigendem Salzgehalt nimmt die Dichte des Wassers zu und die Körper mit einer marginal höheren Dichte als 1 g/cm^3 können nun schwimmen.

Alle diese bisher genannten Faktoren sind weitgehend konstant und sie können von Schülerinnen und Schülern durch Messen herausgefunden werden. Allerdings haben sich einige Wasserlebewesen, wie manche Fische und Quallen, an dieses Leben angepasst. Sie haben bestimmte Hohlräume, die sie mit Gas füllen können, sodass sie dadurch ihre Dichte beeinflussen (vgl. Hagenmaier 1997, S. 4).

Die meisten Knochenfische haben solch einen Hohlraum, der wegen seiner Funktion Schwimmblase genannt wird (vgl. Campbell et al. 2011, S. 958). Knorpelfische hingegen lagern meist Fett im Körper an, das eine geringere Dichte als das umgebende Wasser hat (vgl. Pelster 1993, S. 254). Die Schwimmblase der Knochenfische ist aus dem Vorderdarm evolviert und ist je nach Fischart noch über den sogenannten Schwimmblasengang (Ductus pneumaticus) mit dem Darm verbunden (vgl. Hagenmaier 1997, S. 6). Ist das der Fall so nennt man diese Fische Physostome (vgl. ebd., S. 6). Fische, bei denen sich die Schwimmblase im Jugendstadium vom Darm trennt, nennt man Physoclisten (vgl. ebd., S. 6).

Die Schwimmblase ist ein weiches, ovales Organ, das aus ein bis zwei Kammern besteht (vgl. ebd., S. 6). Bei zwei Kammern haben die Kammern unterschiedliche Aufgaben, wobei zum Beispiel nur eine der beiden zur Speicherung des Gases dient (vgl. ebd., S. 6). Sie sind durch einen Ringmuskel, welcher beim benötigten Ablassen des Gases aus der Schwimmblase entspannt wird, fast voneinander getrennt (vgl. ebd., S. 6). Bei der Art Schwimmblase mit zwei Kammern (und teilweise auch bei Schwimmblasen mit einer Kammer) gibt es eine Gasdrüse, die gut durchblutet ist und

die benötigte Menge Gas in die Schwimmblase *sezerniert*³ (vgl. ebd., S. 6, Pelster 1993, S. 254). Die Blutzufuhr zur Gasdrüse erfolgt über vielfach verzweigte arterielle (sauerstoffreiche) Blutgefäße, die in die Gasdrüse übergehen von wo aus venöse (sauerstoffarme) Blutgefäße ebenfalls stark verzweigt zurückführen (vgl. Hagenmaier 1997, S. 6). Diese stark verzweigten Blutgefäße heißen Kapillaren. Spaltet sich eine Arterie in viele Kapillaren und diese werden wieder in eine Arterie zusammengeführt, so nennt man dieses System Rete mirabile; vergleichbar gibt es dieses System auch bei Venen (vgl. ebd. S. 8, Pelster 1993 S. 254).

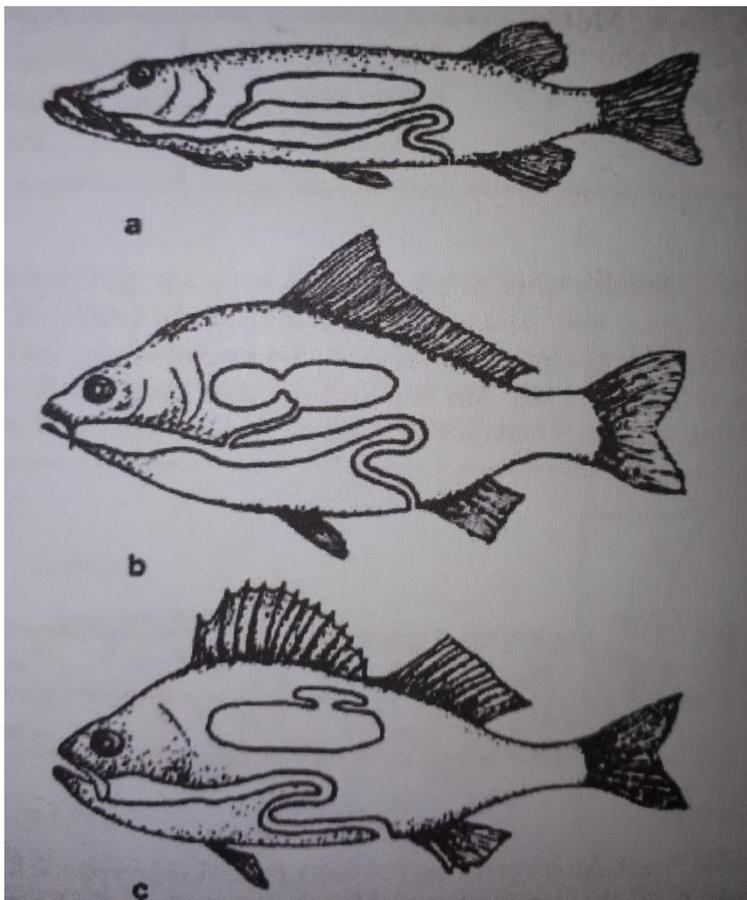


Abbildung 9: (a): Die Schwimmblase ist mit dem Darm verbunden; (b): Die Schwimmblase ist in zwei Kammern aufgeteilt und hat eine Gasdrüse, trotzdem ist sie mit dem Darm verbunden; (c): Die Schwimmblase ist nicht mit dem Darm verbunden, der Fisch hat eine Gasdrüse

³ Sezernieren: ein Sekret absondern.

Jedoch ist dieser Begriff hier falsch, er wird trotzdem genutzt, da er historisch geprägt ist. Eigentlich diffundiert Gas in die Schwimmblase.

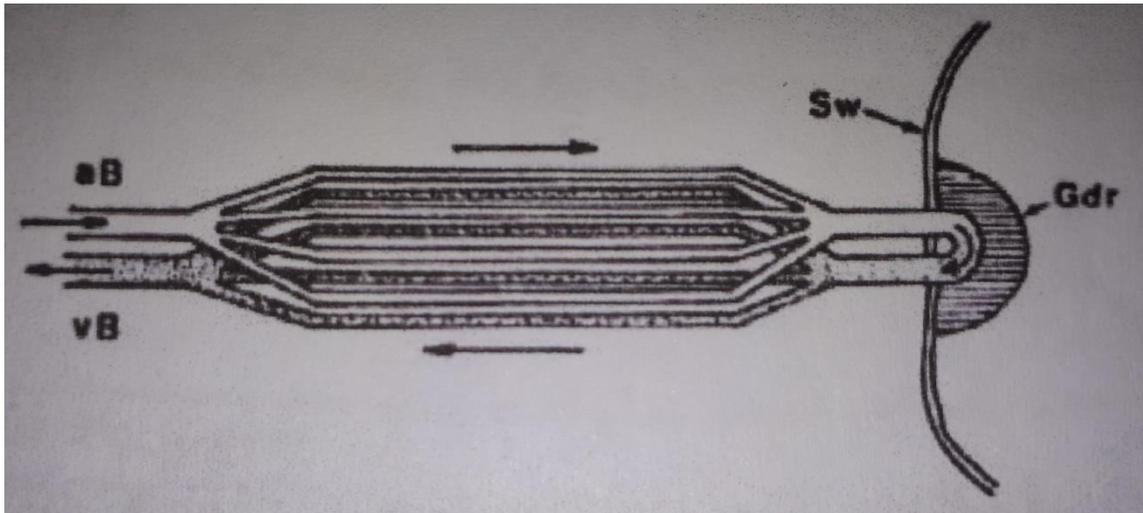


Abbildung 10: Die Retia mirabilia von Arterie (oben) und Vene (unten), rechts im Bild die Schwimmblasenwand sowie die Gasdrüse

Sowohl die arteriellen als auch venösen Kapillaren sind tausendfach vor der Gasdrüse vorhanden und verlaufen parallel zu einander, so entsteht ein Gegenstromsystem mit kleinsten Diffusionsabständen von etwa $1-2\mu\text{m}$, durch das das Gas zwischen venösen und arteriellen Kapillaren ausgetauscht werden kann und die Gasmenge in der Schwimmblase beinahe unverändert bleibt (vgl. Hagenmaier 1997, S. 6, S. 8).

Aufnahme und Abgabe des Gases

Im Folgenden werden nun die Fragen geklärt, wann und wie Fische bei Bedarf ihre Schwimmblase mit Gas füllen können und wie es von dort wieder abgegeben wird.

Beim Abtauchen in tiefere Wasserschichten mit entsprechend höherem hydrostatischen Druck, wird der Fisch (vor allem seine Schwimmblase) komprimiert und es steigt die Dichte des Fisches, wodurch er mehr Gas in seine Schwimmblase pumpen muss, um ein Druckgleichgewicht zu halten. Beim Auftauchen muss ein Fisch entsprechend dieses Gleichgewichts Gas ablassen.

Aufnehmen des Gases in die Schwimmblase

Je nach Aufbau der Schwimmblase gibt es unterschiedliche Wege, die Schwimmblase mit genügend Gas zu versorgen. Viele Physostomen (Fische, bei denen die Schwimmblase mit dem Darm verbunden ist) leben in der Nähe der Wasseroberfläche, um dort Luft zu schlucken, die sie über den Darm in ihre Schwimmblase pumpen

können (vgl. ebd., S. 7). Eine geringe Anzahl der Physostomen, nämlich solche, die weiterhin auch in tieferem Wasser unterwegs sind (wie zum Beispiel Aale), verfügen über die Möglichkeit über die Gasdrüse Gas in die Schwimmblase zu bringen (so wie es für Physoclisten üblich ist), während Fische in der Tiefsee, welche ausschließlich Physoclisten sind, ihre Schwimmblase über ihre Gasdrüse füllen müssen, da sie nicht auftauchen (vgl. ebd., S. 7). Die Füllung der Schwimmblase dauert (bei Physoclisten) teilweise mehrere Stunden (vgl. ebd., S. 6). Tief im Wasser ist der hydrostatische Druck größer als an der Oberfläche, so muss der Fisch gegebenenfalls Gas gegen den herrschenden Druck in der Schwimmblase in diese hineinpressen.

Sauerstoff macht den größten Anteil des Gases bei in der Tiefsee lebenden Fischen aus und hat in der Schwimmblase Partialdrücke von 100-200bar (vgl. ebd., S. 7). Den benötigten Sauerstoff nimmt der Fisch über bewegtes Wasser in seinen Kiemen auf und von dort geht er in die Blutbahn über (vgl. Campbell et al. 2011, S. 957 f.). Zuvor wurde bereits erläutert, wie es funktioniert, dass die Gasmenge in der Schwimmblase in etwa unverändert bleibt, nun soll erläutert werden, wie es möglich ist, über die arteriellen Kapillaren mehr Gas in die Schwimmblase zu transportieren, als über die venösen Kapillaren weggebracht wird.

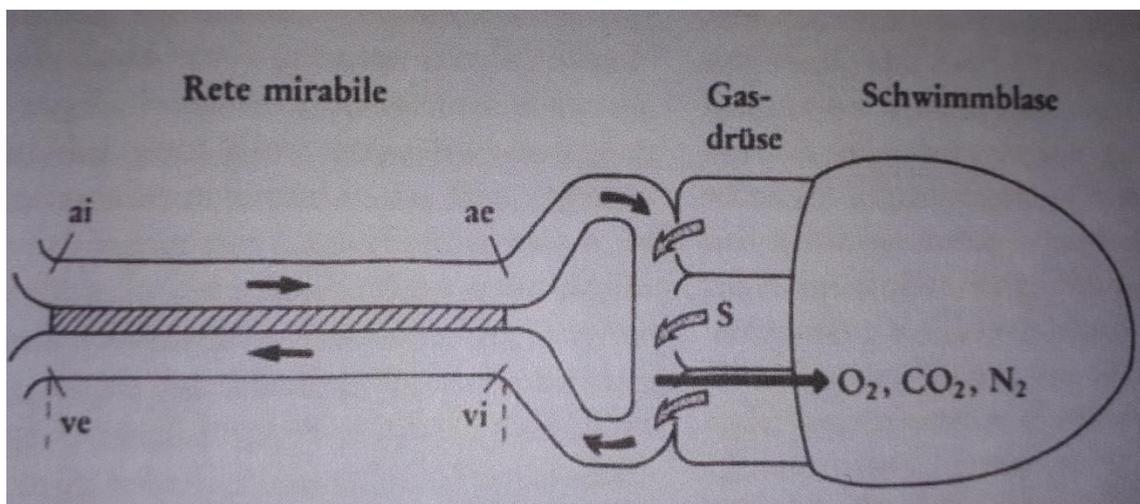


Abbildung 11: Aus der Gasdrüse strömt eine Säure in die Vene

Im Schwimmblasenepithel findet eine anaerobe Stoffwechselreaktion statt: die Glykolyse (Abbau von Monosacchariden) (vgl. Hagenmaier 1997, S. 8). Die Produkte dieser Reaktion gelangen in die oben beschriebenen venösen Kapillaren (siehe

Abbildung 11), verringern dort die Löslichkeit von Gasen und setzen so Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid frei (vgl. ebd., S. 8). Infolge dessen steigt der Gaspartialdruck in den venösen Kapillaren und übersteigt den der arteriellen Kapillaren. Da es sich bei den Retia mirabilia um ein Gegenstromsystem handelt, diffundieren die Gase aus den venösen in die arteriellen Kapillaren und so erhöht sich auch dort der Gaspartialdruck (vgl. ebd., S. 8). Wiederholt sich dieser Vorgang, so übersteigt der Gaspartialdruck in der Rete den in der Schwimmblase und es diffundiert Gas aus der Rete in die Schwimmblase (vgl. ebd., S. 8). Jetzt befindet sich mehr Gas in der Schwimmblase als zu Beginn des Vorgangs und der Fisch kann tiefer tauchen.

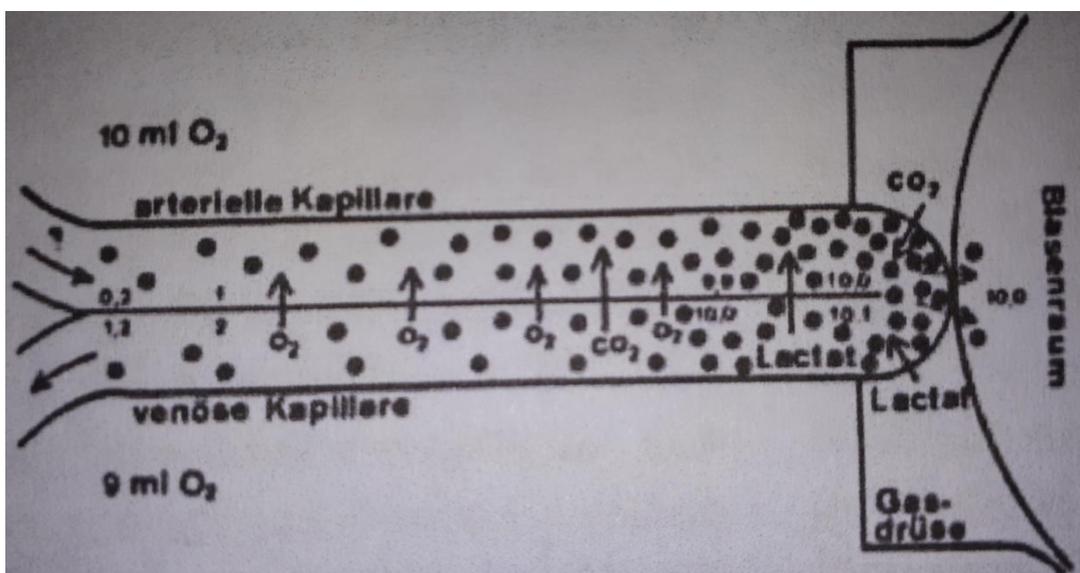


Abbildung 12: Gassekretion aus dem Rete in die Schwimmblase. Die Dichte der Punkte symbolisiert den gelösten Sauerstoff

Abgabe des Gases aus der Schwimmblase

Um das Gas wieder abzugeben, gibt es zwei Möglichkeiten. Bei Physostomen kann überschüssiges Gas von der Schwimmblase durch den Ductus pneumaticus in den Darm und dann weiter durch das Maul schnell abgegeben werden (vgl. ebd., S. 7). Bei Physoclisten ist dieser Weg nicht möglich und so muss das überschüssige Gas anderweitig abgegeben werden. Der Ringmuskel zwischen den beiden Kammern der Schwimmblase entspannt sich und das Oval öffnet sich und das Gas trifft in die Kammer aus der es austreten kann (vgl. ebd., S. 7). So werden die Gase über Kapillaren abtransportiert, durch den Stoffwechsel verarbeitet und über die Kiemen abgegeben (vgl. ebd., S. 7).

Weitere Aufgaben der Schwimmblase

Die Schwimmblase hilft dem Fisch dabei, in der von ihm gewünschten Tiefe fast schwerelos zu schwimmen bzw. zu schweben. Ohne ihre Schwimmblase oder sonstige Hilfen (wie Fetteinlagerung) sind Fische dichter als Wasser, was dazu führen würde, dass sie schlichtweg auf den Boden sinken würden. Natürlich können sie dem Sinken wie wir Menschen durch stetige Bewegung entgegenwirken, was manche Fische, wie die Grundel, Scholle oder der Katzenhai auch tun müssen, da sie keine Schwimmblase besitzen (vgl. ebd., S. 5).

Betrachtet man die oben beschriebenen Vorgänge, liefern sie die Erklärung dafür, dass Physostome im Allgemeinen schneller darin sind ihre Schwimmblase durch Schlucken von Luft zu füllen bzw. durch das Ablassen durch Darm und Maul zu leeren. Weil sie zum Füllen der Schwimmblase Luft schlucken müssen sind diese Fische in der Nähe der Wasseroberfläche zu finden. Eine Ausnahme bilden Physostome mit der zusätzlichen Möglichkeit die Schwimmblase außer über den Darm auch über die Gasdrüse zu füllen, diese wenigen Fischarten sind neben Physoclisten auch in tieferem Wasser anzutreffen (vgl. ebd., S. 7).

Die meisten Physoclisten sind als Jungfische noch Physostome, da sie sich meist in höheren Wasserschichten aufhalten als ihre erwachsenen Artgenossen und dort ihre Schwimmblase ein erstes Mal füllen können (vgl. Pelster 1993, S. 254). Während sie zu adulten Tieren heranreifen verliert der Ductus pneumaticus seine Funktion. Im Gegensatz zu Physostomen leben Physoclisten oft im tiefen Wasser, da für sie die Nähe zur Wasseroberfläche zum Füllen ihrer Schwimmblase nicht relevant ist. Physoclisten ändern die Wassertiefe in der sie sich aufhalten nicht schnell, da ihre Schwimmblase/ ihre Gasdrüse die Gaszufuhr nicht schnell genug regeln kann. Beispielhaft benötigt ein Fisch zum Absinken um etwa 100m Wassertiefe mehrere Stunden Zeit, um während des Sinkens die Schwimmblase, trotz zunehmenden hydrostatischen Drucks, auf konstanter Größe zu halten (vgl. ebd., S. 7).

Durch den stetigen Gasaustausch durch Darm und Maul oder die Gasdrüse (und die Rete mirabile) kann die Zusammensetzung des Gases in der Schwimmblase leicht

variieren. Grundsätzlich handelt es sich um ein Gasgemisch, welches hauptsächlich aus Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Stickstoff besteht (vgl. Hagenmaier 1997, S. 8).

Je tiefer die Fische im Wasser leben, desto länger sind die Kapillaren ihrer Retia mirabilia, zum Beispiel sind die Kapillare von Fischen, die in einer Meerestiefe von 200-600m leben zum Beispiel etwa 1-2mm lang, bei 1000-4000m Tiefe sind sie schon 15-25mm lang (vgl. ebd., S. 8).

An dieser Stelle darf nicht vergessen werden, dass Fische selbstverständlich auch spontan ihre Höhe im Wasser ändern können, ohne dabei auf Gasaufnahme oder -abgabe in/aus der Schwimmblase abzuwarten. Menschen vollführen genau diesen Vorgang beim Tauchen auch. Der Fisch hat die Schwimmblase, um an seinem gewünschten Ort schweben zu können.

Physikalische Ergänzungen

Im Folgenden werden die Beschreibungen oben aufgegriffen und mit physikalischen bzw. chemischen Ergänzungen versehen.

Dichte, Druck und Volumen der Schwimmblase

Die Dichte von Süßwasser beträgt, wie eingangs erwähnt $\rho_{\text{Süß}} \approx 1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$, Meerwasser hat wegen seines Salzgehalts eine höhere Dichte: $\rho_{\text{Meer}} \approx 1,025 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ (vgl. Tipler/Mosca 2004, S. 392) und wird mit dem Quotienten aus Masse und Volumen berechnet.

Die Dichte von reinem Wasser hängt allerdings von vielen Faktoren ab. Man geht weitgehend davon aus, dass Wasser eine inkompressible Flüssigkeit ist und sich durch den umgebenden Druck nicht (de)komprimieren lässt. Typische Einflussfaktoren auf die Dichte sind die Salinität⁴ S , welche sich durch Messen bestimmen lässt oder geschätzt wird und die Temperatur T . So geben Chen und Millero (1986, S. 657) eine Formel zur Temperaturabhängigkeit der Dichte an:

$$\rho(T) = 0,9998395 + 6,7914 \cdot 10^{-5} \cdot T - 9,0894 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 + 1,0171 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 - 1,2846 \cdot 10^{-9} \cdot T^4 + 1,1592 \cdot 10^{-11} \cdot T^5 - 5,0125 \cdot 10^{-14} \cdot T^6$$

⁴ Salinität: Totale Menge Salze (in g) pro $1kg$ Wasser

Sie gilt für einen äußeren Druck von 1013mbar und Temperaturen zwischen 1°C und 20°C . Chen und Millero geben auch einen weiteren Einflussfaktor für diese Gleichung an, der die Salinität berücksichtigt. Die Formel wird um einen weiteren Summanden ergänzt: $(8,181 \cdot 10^{-4} - 3,85 \cdot 10^{-6} + 4,96 \cdot 10^{-8} \cdot T^2) \cdot S$, mit S der Salinität. Süßwasser hat eine Salinität von 0% bis 0,1%, Brackwasser von 0,1% bis 1% und die Definition von Meerwasser ist, wenn die Salinität darüber liegt (vgl. Chen/ Millero 1986, S. 657).

Typische Werte für die Dichte sind in der folgenden Tabelle für Süßwasser mit einer Salinität von 0% aufgeführt:

T in $^\circ\text{C}$	1	4	5	10	15	20
ρ in g/cm^3	0,9998984	0,9999719	0,9999638	0,9996997	0,9990996	0,9982040

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Temperatur und Dichte nach Chen und Millero (1986, S. 657)

Es ist ablesbar, dass Wasser bei 4°C die höchste Dichte hat, wie es auch bei Tipler und Mosca (2004, S. 392) nachlesbar ist.

Mithilfe der Dichte des Mediums Wasser und des Pascal'schen Gesetzes kann der Druck in einer bestimmten Tiefe berechnet werden. Das Pascal'sche Gesetz gilt für inkompressible Fluide im homogenen Schwerfeld:

$$p(h) = \rho gh + p_0$$

Mit ρ der Dichte, g der Erdbeschleunigung (hier $g = 9,81\text{m}/\text{s}^2$), h dem Abstand zwischen Wasseroberfläche und dem untersuchten Ort und p_0 dem Luftdruck auf die Wasseroberfläche ($p_0 = 1013,25\text{hPa}$ auf Höhe des Meeresspiegels).

Um das im Sachzusammenhang anwenden zu können, muss geklärt werden, wie sich der Druck auf den Fisch auswirkt. Während der Fisch sich im Wasser bewegt, sollte er sich möglichst seiner Umgebung anpassen und die gleiche Dichte wie das Wasser haben. Zwar ändert sich die Temperatur im Tiefenverlauf des Wassers, allerdings ändert sich die Dichte des Wassers dabei nur geringfügig und der Fisch ist in der Lage

sich dem anzupassen (siehe Tabelle 1). Was sich im Tiefenverlauf vor allem ändert, ist der Druck, der von außen auf den Fisch wirkt. Dieser Druck wird den Fisch(körper) (wenig bis) nicht zusammendrücken, da sein Gewebe diesem Druck standhält. Die Schwimmblase, die wie oben erklärt mit Gas gefüllt ist, wird durch den Druck komprimiert, weshalb der Fisch mehr Gas in die Schwimmblase befördern muss. Damit sich der Fisch mit wenig Aufwand im Wasser bewegen kann und seinem Auftrieb/Sinken nicht andauernd entgegenwirken muss, muss er die gleiche Dichte wie das umgebende Wasser haben.

Beispielhaft wird ein Fisch mit einem Volumen V von $V = 100\text{cm}^3$ betrachtet. Da Süßwasser eine ungefähre Dichte von 1g/cm^3 hat, muss auch ein Süßwasserfisch diese Dichte haben.

$$\rho_{\text{Süßwasser}} = \rho_{\text{Fisch}} = \frac{m_{\text{ges}}}{V} = \frac{m_{\text{Gewebe}} + m_{\text{S-Blase}}}{V} \quad (\text{vgl. Hagenmaier 1997, S.5})$$

Mit m_{Gewebe} der Masse des Gewebes, $m_{\text{S-Blase}}$ der Masse des Gases in der Schwimmblase und V dem Volumen des gesamten Fisches. $m_{\text{S-Blase}}$ ist dabei vernachlässigbar, da 1cm^3 Luft eine Masse von $0,0013\text{g}$ hat (vgl. ebd., S. 5). Nun setzt man $m_{\text{Gewebe}} = V_{\text{Gewebe}} \cdot \rho_{\text{Gewebe}}$ ein. Weiterhin wird beispielhaft angenommen, das Gewebe des Fisches habe, wie zum Beispiel bei einer Scholle, eine Dichte von $1,063\text{g/cm}^3$ (vgl. ebd., S. 6).

$$\rho_{\text{Süßwasser}} = \frac{V_{\text{Gewebe}} \cdot \rho_{\text{Gewebe}}}{V}$$

$$\Leftrightarrow V_{\text{Gewebe}} = \frac{\rho_{\text{Süßwasser}} \cdot V}{\rho_{\text{Gewebe}}} = \frac{1 \cdot 100}{1,063} \text{cm}^3 \approx 94,1 \text{cm}^3$$

Da der gesamte Fisch ein Volumen von 100cm^3 hat und sein Gewebe etwa $94,1\text{cm}^3$, muss die Schwimmblase demnach ein Volumen von $5,9\text{cm}^3$ haben.

Oben wurde errechnet, wie groß die Schwimmblase eines Fisches sein müsste, wenn er im Meerwasser schwimmt. Meerwasser hat eine Dichte von $1,025\text{g/cm}^3$. Nun muss $\rho_{\text{Fisch}} = \rho_{\text{Meerwasser}}$ sein.

$$V_{\text{Gewebe}} = \frac{\rho_{\text{Meerwasser}} \cdot V}{\rho_{\text{Gewebe}}} = \frac{1,025 \cdot 100}{1,063} \text{ cm}^3 \approx 96,4 \text{ cm}^3$$

Hier wurden zum Fisch dieselben Annahmen getroffen, um eine Vergleichbarkeit zu erzielen. In diesem Beispiel muss die Schwimmblase entsprechend nur ein Volumen von $3,6 \text{ cm}^3$ haben und ist somit bedeutend kleiner, als sie im Süßwasser sein muss.

Oben wurde das benötigte Volumen für die Schwimmblase behandelt. Ebenfalls wurde erklärt, welcher Druck in einer bestimmten Tiefe auf den Fisch bzw. auf die Schwimmblase wirkt. Mit Hilfe des Boyle-Mariotteschen Gesetzes kann der Zusammenhang zwischen Druck und Volumen formuliert werden:

$$p \cdot V_{T,n} = \text{const.}$$

Taucht ein Fisch nun weiter ab, erhöht sich der Druck auf seine Schwimmblase und sie wird komprimiert, wobei sich ihr Volumen verringert (proportional zum äußeren Druck). Allerdings benötigt die Schwimmblase durchgehend gleiches Volumen, um die Dichte des gesamten Fisches konstant zu halten. Hier kommen nun die Gasdrüse oder der Ductus pneumaticus zum Tragen, der die Schwimmblase mit genügend Gas versorgt, um ihr Volumen zu halten. Es ändert sich also die Gasmenge in der Schwimmblase, wodurch es angebracht ist, statt des Boyle-Mariotteschen Gesetzes das ideale Gasgesetz zu betrachten.

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Mit n der Stoffmenge, $R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{K} \cdot \text{mol}}$, der Gaskonstante und T der Temperatur. Die Temperatur kann in einem Bereich von einigen Tiefenmetern (um genau zu sein: ab einer Wassertiefe von etwa 20m) als nahezu konstant angenommen werden, da sich in den betrachteten Tiefenänderungen die Temperatur nicht stark ändert. Demnach lässt sich die Formel umformen, sodass die variablen Werte auf der einen Seite und die konstanten auf der anderen Seite des Gleichheitszeichens stehen:

$$\frac{p}{n} = \frac{R \cdot T}{V}$$

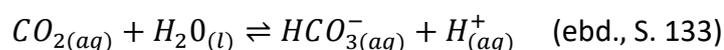
Und so muss sich die Stoffmenge erhöhen, wenn der Druck erhöht wird, aber das Volumen gleich gehalten werden soll.

Aufnahme und Abgabe von Gas in die Schwimmblase bei Physoclisten

Um die Stoffmenge zu verändern, muss Gas in die Schwimmblase gebracht werden oder aus ihr herausgebracht werden. Welche Mechanismen dabei ineinandergreifen wurde oben schon erklärt. Im Folgenden wird beschrieben, wie in den Retia mirabilia die Gaskonzentration gesteuert wird.

Die Schwimmblasenarterie gabelt sich auf in eine Rete mirabile und wird danach wieder zu zwei bis drei Arterien zusammengeführt, die sich zum Versorgen der Schwimmblase wieder verzweigen (vgl. Pelster 1993, S. 254). Ebenso gabelt sich die rückführende Vene auf (wie oben erklärt), sodass die beiden Retia mirabilia ein Gegenstromsystem bilden, wo jede arterielle Kapillaren von mehreren venösen Kapillaren umgeben ist und umgekehrt (vgl. ebd., S. 254). Dabei hat dieses Gegenstromsystem einen Diffusionsabstand von $1-2\mu m$ und eine große Oberfläche (vgl. Hagenmaier 1997, S. 7).

Muss der Schwimmblase nun mehr Gas hinzugefügt werden, so werden dem Blut, das durch die Kapillaren des Schwimmblasenepithels fließt, Substanzen hinzugegeben, die die physikalische Löslichkeit von Gasen erniedrigen bzw. Gase aus ihrer chemischen Bindung herauslösen (Aussalzeffekt) (vgl. Pelster 1993, S. 256, Hagenmaier 1997, S. 8). Das Schwimmblasenepithel gibt Laktat ab, was diesen Aussalzeffekt hervorruft (vgl. Pelster 1993, S. 256). Im Falle, dass z.B. Sauerstoff herausgelöst wird, nennt man dies *Bohr-Effekt* (vgl. ebd., S. 256). Bei hoher Zellaktivität/Zellatmung entsteht Kohlenstoffdioxid, welches – katalysiert durch Carboanhydrase – mit Wasser zu Hydrogencarbonat und Protonen reagiert. In Bezug auf die Schwimmblase wird dieser Vorgang nicht durch eine hohe Zellaktivität sondern durch eine durchgehende Lactatprouktion hervorgerufen was zur Konsequenz hat, dass der pH-Wert sinkt (vgl. ebd., S. 256, Müller-Esterl S. 133).



Durch diesen erhöhten pH-Wert kann der Sauerstoff nicht mehr so gut gebunden werden (vgl. Pelster/ Scheid 1994, S. 476). Die Gase werden nun herausgelöst, wobei sich die Gaskonzentration im Blut nicht ändert. Das Henry'sche Gesetz $C = \alpha \cdot P$ (mit C der Konzentration, α der Löslichkeit und P dem Gaspartialdruck) besagt, dass bei konstanter Konzentration und geringerer Löslichkeit der Gaspartialdruck steigt (vgl. Hagenmaier 1997, S. 8). So ist der Gaspartialdruck in den venösen Kapillaren größer als in den arteriellen und es diffundieren entlang des Partialdruckgradienten der Retia mirabilia die Gase von den venösen in die arteriellen Kapillaren. Dadurch steigen dort die Gaskonzentration und der Gaspartialdruck. Ist der Gaspartialdruck in den Arterien nun größer als im Schwimmblasenepithel, so diffundiert das Gas entlang des Diffusionsgradienten in die Schwimmblase. Dies beschreibt einen geringen Einzeleffekt, der „im Gegenstromsystem durch Rückdiffusion multipliziert“ (Pelster 1993, S. 256) wird. Die Wand der Schwimmblase ist für Gase wenig bis gar nicht permeabel, da in ihm Guaninkristalle eingelagert sind (vgl. ebd., S. 258).

Um die Schwimmblase zu leeren, wird der Schließmuskel zwischen dem Teil der Schwimmblase, der gerade beschrieben wurde, und einem zweiten Bereich geöffnet, sodass Gas aus der Schwimmblase in diesen resorbierenden Bereich gelangen kann. Die Wand des resorbierenden Bereichs ist permeabel, sodass das überschüssige Gas entlang des Diffusionsgradienten in das Blut abgegeben werden kann (vgl. Hagenmaier 1997, S. 7, Pelster 1993, S. 258).

Gaszusammensetzung in der Schwimmblase

Die Gaszusammensetzung variiert je nach Alter der Fische (und somit ihrer Schwimmblase), ihrem Aufenthaltsort (Tiefe im Wasser) und sie hängt davon ab, ob sie Physostome oder Physoclisten sind (vgl. Hagenmaier 1997, S. 8). Bei den Gasen in der Schwimmblase handelt es sich „hauptsächlich [um] Sauerstoff, Stickstoff, Kohlenstoffdioxid und manchmal einige Edelgase“ (ebd. S. 8). Physostome nehmen in ihre Schwimmblase immer wieder neue atmosphärische Luft und damit deren Gaszusammensetzung auf. Somit ist bei diesen Fischen, die nah an der Wasseroberfläche leben, die Zusammensetzung etwa gleich mit der der Luft, bei den wenigen Physostomen mit Gasdrüse, die schon länger in tieferen Schichten leben

steigt die Konzentration von Stickstoff an (vgl. ebd., S. 8). Meeresfische haben dabei grundsätzlich eine höhere Sauerstoffkonzentration als Süßwasserfische (vgl. ebd. S. 8). Physoclisten weisen eine höhere Sauerstoff- und Kohlenstoffdioxidkonzentration als die der Atmosphäre auf, da bei ihnen durch den oben beschriebenen Vorgang (Bohr-Effekt und seinen Spezialfall den Root-Effekt) zusätzlich Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid für die Füllung der Schwimmblase zur Verfügung stehen (vgl. ebd., S. 8).

5.2 Seitenlinienorgan

Neben den bekannten Wahrnehmungsorganen wie den Augen, Ohren, der Nase und der Haut haben fast alle Fische und im Wasser lebende Amphibien seitlich vom Kopf bis zur Schwanzflosse ein Sinnesorgan zur Wahrnehmung ihrer Außenwelt (Exterozeption), das so genannte Seitenlinienorgan (vgl. Campbell et al. 2011, S. 1472 f.).

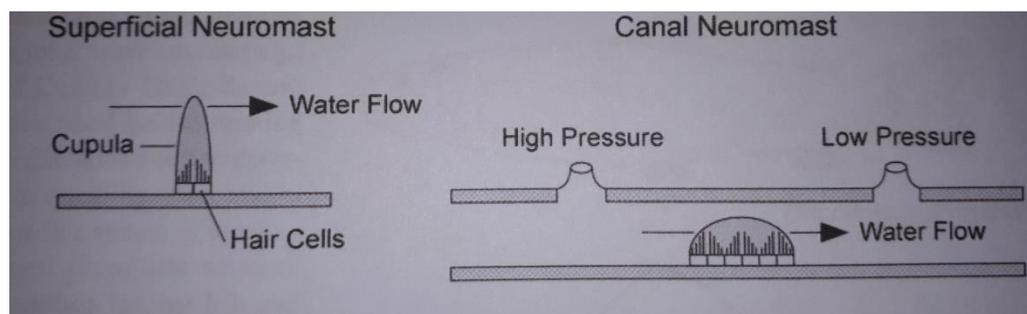


Abbildung 13: Unterschied zwischen SN und CN

Es dient der Wahrnehmung von Veränderungen der Umgebung, also des Wassers, und zum Erkennen der Bewegung anderer Tiere z.B. von Fressfeinden oder anderer Artgenossen im Schwarm. Daher wird dieser Sinn auch als Ferntastsinn bezeichnet (vgl. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH (a) o.J.). Die Wasserbewegungen werden durch Neuromastzellen in Neurosignale umgewandelt und gelangen so in Teile des Hirnstamms, das Kleinhirn, Mittelhirn und Vorderhirn (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 627).

Aufbau des Seitenlinienorgans

Diese Neuromasten können entweder auf der Außenhaut der Fische aufsitzen und so das umgebende Wasser und seine Bewegung direkt spüren (superficial neuromasts, SN), oder das Seitenlinienorgan ist so aufgebaut, dass außerhalb der Körperwand des Fisches die Schuppen sitzen und sich zwischen den Schuppen eine Art Kanal (Seitenlinienkanal) befindet, in den durch Poren umgebendes Wasser einströmen kann (vgl. Goulet et al. 2007, S. 1). Im Kanal befinden sich Neuromasten (canal neuromasts, CN), die abgesehen von ihrer Lage denen auf der Außenhaut der Fische gleichen. Diese Neuromasten befinden sich in sogenannten Cupulae, mit Sinneshaaren, von denen Nervenfasern zum Seitenliniennerv auf der Körperwand des Fisches abgehen (vgl. Campbell et al. 2011, S. 1473). Die Cupulae werden durch das in den Seitenlinienkanal strömende Wasser bewegt, sodass die Sinneshaare die Bewegungen der jeweiligen Cupula wahrnehmen (vgl. Hassan 1991, S. 1).

Dabei gibt es zwei unterschiedliche Arten von Sinneshaaren, die einen sind empfindlich für Bewegung in die eine Richtung, die anderen für Bewegung in die Gegenrichtung (vgl. ebd., S. 1). Die Strömungsrichtung des Wassers im Seitenlinienkanal wird durch den unterschiedlichen Druck auf die Öffnungen des Seitenlinienkanals bestimmt (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 628). Neuromasten im Seitenlinienkanal können im Gegensatz zu denen auf der Körperwand neben der Strömungsrichtung auch den Druckgradienten detektieren (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 628). Jene auf der Körperwand sind mehr sensibel für konstante Strömung (vgl. Goulet et al. 2007, S. 1).

Der Vollständigkeit halber muss erwähnt werden, dass es neben den Neuromasten bei Haien und Rochen noch die Möglichkeit gibt, dass eine Art Seitenlinienorgan mit Lorenzini-Ampullen aufgebaut ist, die dabei mehr der Elektrorezeption dienen (vgl. Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH (b) o.J.). Dabei handelt es sich um einzelne Kanäle senkrecht zur Hautoberfläche, an deren Ende Nervenzellen sitzen, die neben Druck auch Temperatur und elektrische Reize wahrnehmen können. Diese Kanäle sitzen an der Hautoberfläche und dringen tief in die Haut ein, sind mit einer gallerten Masse gefüllt und es ragen viele Sinneszellen in sie hinein (vgl. ebd.). Das

umgebende Wasser kann nicht in die Kanäle eindringen, sodass es die gallerte Masse in verschiedene Richtungen mit bestimmter Intensität drückt (vgl. ebd.).

Funktion des Seitenlinienorgans

Das Seitenlinienorgan dient der Wahrnehmung von Veränderung des umgebenden Wassers. Diese Veränderungen können verschiedene Ursachen haben. Zum einen können sie tierischen Ursprungs sein, worauf im weiteren Verlauf näher eingegangen wird. Zum anderen lösen Schiffe, Temperaturänderungen oder zum Beispiel Wind solche Wasserbewegungen aus. Der Fisch muss unterscheiden, ob ein äußerer Umstand das Wasser bewegt und er sich dem anpassen muss, indem er zum Beispiel eine Stelle im Wasser sucht, an der die verursachten Wasserbewegungen geringer sind (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 628 f.), oder er muss dieses dauerhafte Signal (engl.: noise) ausblenden. Ebenfalls können Bewegungen vom Fisch selber oder von anderen Fischen ausgehen. Die Eigenbewegung des Fisches bewegt das Wasser um ihn herum, was er wiederum über das Seitenlinienorgan wahrnehmen kann. Allerdings kann er mit seiner Bewegung auch andere Fische erreichen, die darauf reagieren. Bewegt sich ein anderer Fisch, egal ob z.B. Beute oder Fressfeind, so hilft die Wahrnehmung durch das Seitenlinienorgan die Beute zu jagen oder sich vor dem Fressfeind zu schützen. Mithilfe des Seitenlinienorgans können sich zum Beispiel Sardinen vor Fressfeinden schützen. Sie schwimmen im Schwarm wie *ein* großer Fisch und jede Sardine kann auf jede Bewegung ihres Nachbarn reagieren.

Studien mit blinden Fischen zeigen, dass sie durch ihr Seitenlinienorgan auch feststehenden Objekten ausweichen können und so einer Kollision aus dem Weg gehen, denn diese Objekte reflektieren verschiedene Wellen, die detektiert werden (vgl. Hassan 1991, S.1). Allerdings ist es noch nicht vollends bekannt, in welchem Maß Fische auf das Signal durch ihr Seitenlinienorgan reagieren, zum Beispiel achten Forellen bei Licht weniger auf die Signale des Seitenlinienorgans als im Dunkeln (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 631). Auch sonst ist die Rolle der jeweiligen Wahrnehmungsorgane noch nicht vollständig erforscht (vgl. Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 631).

5.3 Andere Sinne und Wahrnehmungsorgane

Neben dem Seitenlinienorgan, welches ein Sinnesorgan ist, das nur Fische (und manche Amphibien) besitzen, gibt es noch weitere Sinnes- und Wahrnehmungsorgane, solche, wie wir sie typischerweise kennen. Im nachfolgenden Teil wird auf diese weiteren Sinnes- und Wahrnehmungsorgane, wie Augen, Nase/Mund und Ohren eingegangen. Neben den Sinnes- und Wahrnehmungsorganen gibt es noch die Themen *Muskeln* und *Atmung/Kiemem*.

Gehörapparat

Der Gehörapparat von Fischen hat keine Öffnung nach außen, sodass es weder Trommelfell noch Schnecke gibt, wodurch das Hören bei Fischen ebenfalls durch das Innenohr funktioniert (vgl. Campbell et al. 2011, S. 1472). Das Innenohr nimmt durch Knochen im Kopf Wasserschwingungen aufgrund von Schallwellen wahr (vgl. ebd., S. 1472). Neben den Knochen im Kopf wird bei manchen Fischen auch die Schwimmblase in Schwingung versetzt und durch bestimmte Knochen wird auch hier die Schwingung zum Innenohr übertragen (vgl. ebd. S. 1472).

Geschmacks- und Geruchssinn

Die Wahrnehmung von Geschmack nennt man auch Gustation und die Wahrnehmung von Geruch Olfaktion. Diese Sinne basieren wie bei uns Menschen auch auf Chemorezeptoren, wobei diese beiden Sinne bei wasserlebenden Tieren nicht zu unterscheiden sind (vgl. ebd., S. 1473). Das liegt daran, dass der Geschmackssinn in einer Flüssigkeit gelöste Stoffe registriert, wohingegen der Geruchssinn solche aus der Luft registriert, dieser Unterschied kann unter Wasser so nicht gemacht werden. Der Unterschied zwischen diesen beiden Sinnen kann trotzdem definiert werden. Der Geschmackssinn dient der Wahrnehmung des Geschmacks der Nahrung. Den Geruchssinn nutzen Fische hingegen, um sich zu orientieren (vgl. ebd., S. 1473). Zum Beispiel kehren Hechte zum Laichen oftmals an den Ort ihrer eigenen Geburt zurück, denn den für diesen Ort einzigartigen Geruch vergessen die Tiere nicht (vgl. ebd., S. 1473).

Sehen

Das Auge der Fische ist aufgebaut wie das von uns Menschen, mit einer Hornhaut, Pupille, Iris sowie einer Augenlinse (vgl. ebd., S.1479). Hinter der Augenlinse ist ein Glaskörper umgeben von der Netzhaut und Aderhaut und einem Sehnerv (vgl. ebd., S. 1479). Im Gegensatz zu uns Menschen fokussieren Fische, indem sie ihre Linse vor- und zurückbewegen anstatt die Form der Linse zu verändern (vgl. ebd., S. 1479 f.).

Fische haben eine gut ausgeprägte Farbsehfähigkeit, die weitaus besser als bei uns Menschen vorhanden ist (vgl. ebd., S. 1480). Da einige Säugetiere nachtaktiv sind, brauchen sie im Gegensatz zu Fischen mehr Möglichkeiten zum Wahrnehmen von Licht als von Farbe (vgl. ebd., S. 1480).

Muskeln

Fische besitzen eine starke Rumpfmuskulatur, die den Körper umschließt (vgl. Spektrum, Lexikon der Biologie, Artikel Muskulatur). Er wird in einen dorsalen (am Rücken gelegenen) und eine ventralen (am Bauch gelegenen) Teil unterteilt (vgl. ebd.). Die Längsmuskulatur wird quer in so viele Muskelsegmente eingeteilt, wie das Tier Wirbel im Rücken hat (vgl. ebd.). Ein Teil der ventralen Muskulatur ist abgespalten und verläuft in die Flossen, wo sie für die Bewegung der Flossen verantwortlich ist (vgl. ebd.). Die Anspannung (Kontraktion) von Muskeln erfolgt aktiv, wie es bei den Menschen und anderen Säugetieren auch der Fall ist, die Entspannung erfolgt passiv, also durch Kontraktion des Gegenspielers (vgl. Campbell et al. 2011, S. 1484).

Atmung/Kiemer

Fische sind sogenannte Kiemenatmer. Sie atmen unter Wasser und ersticken an Land, weil sie bewegtes Wasser in den Kiemen brauchen. Die Kiemen sind ständig von Wasser durchspült und in ihnen kommt es durch das Gegenstromprinzip zum Gasaustausch zwischen Wasser und Blut. Die Kiemen haben Lamellen, um die Oberfläche und damit die Menge des auszutauschenden Gases zu erhöhen. Vornehmlich werden dabei Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid getauscht. Sauerstoff braucht der Fisch (ebenso wie wir Menschen) im Blut, um es in den Zellen oder wie oben beschrieben in der Schwimmblase zu verarbeiten.

5.4 Die Schwimmbewegung von Fischen

Auf den ersten Blick wirkt das Schwimmen von Fischen sehr mühelos und es sieht aus, als würden sie einfach durch Wasser gleiten. Sie schlagen mit der Schwanzflosse, um sich nach vorne zu bringen, die Schwanzflosse wird mit der Längsmuskulatur des Körpers gesteuert. Die einfach vorhandenen Rücken- und Afterflossen helfen dem Fisch, das Gleichgewicht zu halten, die paarigen Brust- und Bauchflossen dienen der Richtungssteuerung.

Im Gegensatz zur Kraft, die von einem Festkörper auf einen anderen wirkt, ist es schwieriger zu beschreiben, wie es zwischen einem Festkörper (Fisch) und einer Flüssigkeit (umgebendes Wasser) ist. Wichtig bei der Fortbewegung ist der Impulsübertrag zwischen Fisch und Wasser. Es gibt verschiedene Theorien über die Schwimmbewegung, eine geht davon aus, dass der Vortrieb rein von der Schwanzflosse ausgeht, eine andere bezieht die Bewegung des gesamten Rumpfes mit in den Vortrieb ein, wie es bei einer Forelle ausgesprochen gut erkennbar ist (vgl. Roth 1973, S. 286, S. 290). Man erkennt, dass die Amplituden des Ausschlags zum Schwanzende des Fisches hin exponentiell anwachsen (vgl. ebd. S. 299). Roth (1973, S. 286 f.) nutzt in seiner Arbeit eben diese zweite dieser Theorien (Ausschlagbewegung des gesamten Körpers) und er beschreibt die optimale Schwimmbewegung zum Vortrieb „mit Hilfe eines Druckgesetzes, welches die lokalen und zeitlichen Deformationen enthält“ (ebd. S. 286). So wird aus einem strömungstechnischen Problem mit Hilfe des Druckgesetzes ein Problem der Technischen Mechanik (vgl. ebd. S. 286).

Roth (1973, S. 289) stellt aufgrund von Messungen die Vereinfachung auf, dass entlang des Fischkörpers eine laminare Grenzschicht angenommen werden kann, was vermutlich auf die Schuppen und die gelartige Schutzschicht um die Schuppen herum zurückzuführen ist. Ebenfalls reduziert Roth (1973, S. 286 ff.) die Schwimmbewegung des Fisches auf die Flatterbewegung einer Metallplatte und stellt an beide Bewegungen die Forderung, mit möglichst wenig Aufwand maximalen Vortrieb zu erreichen. Dieses Optimum findet durchschnittlich bei einem Verhältnis von Schwimmgeschwindigkeit v zu Wellengeschwindigkeit (durch den Fischkörper) w :

$\frac{v}{w} = \frac{1}{\sqrt{3}} \approx \frac{1}{1,732} \approx 0,58$ (vgl. ebd. S. 294). Der Wirkungsgrad der Bewegung lässt sich auf eine einfache Formel zurückführen: $\eta = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{v}{w}\right) = 0,79$, so erhalten wir bei dem optimalen Verhältnis der Geschwindigkeiten einen Wirkungsgrad von 79%. was sogar geringfügig höher als der Wirkungsgrad einer Schiffsschraube ist (vgl. ebd., S. 296, vgl. Kornev 2009, S. 97). Für die Fische Stör, Forelle und Aal gibt Roth (1973, S. 298) ein Verhältnis der Geschwindigkeiten von 0,39, 0,51 und 0,69 an, was Wirkungsgrade von 70%, 76% und 85% ergibt, wir erkennen also, dass der Aal besser als der durchschnittliche Fisch schwimmt.

Beobachtet man verschiedene Fische, so erkennt man schnell, dass manche besser darin sind, einen Vortrieb zu erzeugen als andere, sie bewegen ihren ganzen Körper und zwar zum Schwanzende hin mit höherer Amplitude (vgl. ebd., S. 299). So ist auch zu erkennen, dass es Fische mit einer gleichmäßigen Massenverteilung (z.B. der Kofferbischof) schwerer haben, sich vorwärts zu bewegen, als solche mit mehr Masse am Rumpf und wenig Masse am Schwanz (vgl. ebd., S. 299).

Von den drei in Kapitel vier vorgestellten Fischen ist vor allem der Hecht ein gutes Beispiel für eine vorteilhafte Massenverteilung, er ist *stromlinienförmig* und kann mit seinem Schwanz beim Ausschlag eine höhere Amplitude erreichen als mit dem Rumpf, was ihn als guten Jäger mit der Möglichkeit des Schnellstarts macht. Auch die Barbe zeigt diese Massenverteilung. Im Gegensatz dazu hat die Schwarzmundgrundel, die zwar zur Schwanzflosse auch ein wenig schmaler wird, jedoch nicht so extrem wie der Hecht, eine nicht so vorteilhafte Massenverteilung und kann sich daher weniger blitzartig bewegen.

6 Didaktische Aspekte

Die in den vorherigen Kapiteln behandelte Theorie über einzelne Fische, ihre Schwimmblase, ihr Seitenlinienorgan und ihre Schwimmbewegungen bieten viele Möglichkeiten der didaktischen Anknüpfung und Umsetzung. So soll folgend ein Einblick in mögliche didaktische Umsetzungen verschiedener, möglicher Projekte gegeben werden und auch ein Tagesplan aufgezeigt werden, wie er aus Sicht der Physik beispielhaft aussehen könnte. Dazu werden zunächst die Interessen und Wünsche einiger Schülerinnen und Schüler behandelt.

6.1 Prä-Befragung

Beim außerschulischen Lernort sollen den Lernenden fachliche Inhalte vermittelt werden, die so entweder gar nicht im Lehrplan des jeweiligen Faches stehen oder es sollen Inhalte aus dem Lehrplan vermittelt werden, allerdings auf eine Weise, die im Schulgebäude bzw. im Klassenraum so nicht möglich ist.

Damit ist es möglich, den SchülerInnen besondere Dinge an den außerschulischen Lernorten beizubringen. So kann man sich Gedanken darüber machen, welche Sachinhalte interessant wären und ebenso umsetzbar, jedoch können hier nur Vermutungen angestellt werden. Um wirklich zu erfahren, was von Interesse, ist müssen Schülermeinungen eingeholt werden. Aus diesem Grund wurden insgesamt 14 Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 7 bis 13 nach ihren Interessen befragt. Zwar handelt es sich dabei zwar um keine repräsentative Studie, jedoch gibt sie einen ersten Einblick in die für Lernende interessanten Themen. Die gesammelten Ergebnisse dieser Befragung befinden sich im Anhang dieser Arbeit.

Die Befragungen wurden auf zwei verschiedene Arten durchgeführt. Ein Teil wurde rein mündlich interviewt, der andere Teil bekam zusätzlich eine PowerPoint-Präsentation zur visuellen Unterstützung des Interviews gezeigt. Auf der Präsentation waren Bilder des Rheins, der Lage der Ökologischen Rheinstation sowie Außen- und Innenansichten der Ökologischen Rheinstation. Beim Interview wurde beschrieben, wo und wie das Schiff im Rhein liegt und wie es aussieht. Mit verschiedenen Fragen sollten den Schülerinnen und Schülern ihre Gedanken, Vorstellungen, Fragen und Anregungen zur beschriebenen Situation entlockt werden. Von den Interviews wurden

Tonaufnahmen gemacht, die im Anschluss auf die relevanten Aspekte hin untersucht wurden. Die Ergebnisse lassen sich auf folgende Punkte zusammenfassen:

1. Warum liegt das Rheinboot da? Was wird dort gemacht?
2. Wie schwimmt dieses Boot? Wie schwimmen Boote/Schiffe?
3. Warum leben Fische da wo sie leben? Wie leben sie (Nahrung)?
4. Wieso schwimmen Fische nicht gegen Gegenstände z.B. Schiffe?
5. Welche Pflanzen gibt es im Rhein (besonders: Algen)?
6. Allgemeine Fakten zum Rhein z.B.: durch welche Länder fließt der Rhein?

Auf die Punkte 1-4 wurde im Theorieteil schon einmal eingegangen und sie werden im Folgenden von didaktischer Seite aus betrachtet. Die Punkte 5 und 6 bieten noch andere Anknüpfungspunkte für weitere Arbeiten.

6.2 Didaktische Möglichkeiten

Hier werden zunächst verschiedene Möglichkeiten der didaktischen Umsetzung kurz erläutert. Es werden die Ideen zu verschiedenen Experimenten oder anderen Stationen skizziert, unterteilt nach den Themengebieten *Animation*, *Strömungskanal* und *Wasserbehälter*.

Animation

Eine Animation des Rheinbettes mit Steinen, Strömung, Schiffen, Algen und anderer biologischer und nicht biologischer Materie ist eine gute Grundlage für eine medienbasierte Einheit. Wie es schon in Planung ist und weitergeführt wird, soll eine Art interaktives *Spiel* entwickelt werden, bei der der *Spieler* einen Fisch (bisher die Barbe) steuert und merkt, wie dieser auf Strömungen reagiert, von welchen anderen Fischen er gejagt wird und was er selber frisst. Dies kann in Zukunft für verschiedene weitere Fische erstellt werden. So stellt es wegen der Abwechslung einen hohen Grad an Lernerfolg dar. Die in Kapitel 4 ausführlich beschriebenen Merkmale und Daten der Fische sollen als Grundlage für die Programmierung und Animation der Fische in

diesem Spiel dienen. Es kann mit weiteren Features ausgestattet werden z.B. mit Controllern, die vibrieren, wenn das Seitenlinienorgan etwas wahrnimmt.

Ebenfalls ist vorstellbar, dass hier mehrere Schülerinnen oder Schüler mit-beziehungsweise gegeneinander *spielen* zu lassen. Durch eigenes Erleben und Steuern der Animation werden die Eigenschaften der verschiedenen Fische (Körperbau, Schwimmblase und Seitenlinienorgan) sicher besser verinnerlicht. Unter dieser Voraussetzung kann die Steuerung der Animation als Spiel bezeichnet werden, denn „das Erlebnis von Freude, Spaß und Vergnügen“ (Pfeifer 1990, S. 115), welches die Schülerinnen und Schüler dabei erleben, ist ein wesentliches Kriterium von Spiel (vgl. ebd., S.115). So liegt es nahe dieses Spiel als extrinsische Lernmotivation zu nutzen, wenn den Schülerinnen und Schülern der Lebensweltbezug als Lernmotivation fehlt.

Strömungskanal

Vorstellbar ist auch eine Umsetzung der Theorie (aus den obigen Kapiteln) in Kooperation mit dem im Bootskeller befindlichen Strömungskanal. Ein haptisches Experiment ergibt sich mit Knete. Aus dieser Knete können die einzelnen Fische geformt werden, dabei sollte, soweit dies mit Knete möglich ist, sowohl auf die Größe, als auch auf die Körperform und vor allem die vorhandene oder fehlende Schwimmblase geachtet werden, denn es können auch Hohlräume in den Knete-Fisch gearbeitet werden. Im Strömungskanal können diese Fische aus Knete nun auf ihre aquadynamischen Eigenschaften hin untersucht werden, wie gut der Fisch schwimmt oder sinkt und wie er auf Strömung reagiert. Auch die Saugflosse der Schwarzmundgrundel kann mit Knete geformt werden, sodass auch der Knete-Fisch an der Scheibe/dem Boden des Strömungskanals festgesaugt/festgeklebt werden kann.



Abbildung 14: Der Strömungskanal im Bootskeller

Wasserbehälter

An einem Wasserbehälter können weitere passende (Freihand-)Experimente entwickelt und erprobt werden. Vor allem Versuche zur Schwimmblase bieten sich dafür an. Sie können dann ebenfalls vergleichsweise problemlos an verschiedenen Orten außerhalb der Ökologischen Rheinstation als Experiment aufgebaut werden. Mögliche Versuche sind hier zum einen, gleichschwere Massstücke so zu formen, dass verschieden große Hohlräume in der Mitte bleiben und das einzelne Stück entweder auf den Boden sinkt, im Wasser schwebt oder sogar zur Wasseroberfläche aufsteigt und dort schwimmt.

Zum anderen können mit einem einfachen Luftballon zwei andere Versuche zur Schwimmblase durchgeführt werden. Mit verschiedener Menge Luft gefüllte, geschlossene Ballons sollen in bestimmte Wassertiefen (z.B. kurz unter die Oberfläche oder eine Armlänge unter Wasser) gedrückt werden. Dabei stellen die Schülerinnen und Schüler fest, wie viel Druck auf den Ballon wirkt. Ein dazu passender Versuch ist, die Schülerinnen und Schüler versuchen zu lassen, einen Ballon unter Wasser aufzupusten. Mit einer Vorrichtung wird der Ballon unter der Wasseroberfläche gehalten, aber das Mundstück befindet sich noch über Wasser. Damit wird ein Eindruck davon gegeben, wie viel Druck die Fische (mit Schwimmblase) aufbringen müssen, um ihre Schwimmblase mit Gas zu füllen.

Diese Experimente müssen natürlich nicht zwangsläufig an einem bzw. diesem Außerschulischen Lernort durchgeführt werden. Würden sie jedoch nur in der Schule

durchgeführt, so sind sie nur eines von vielen Experimenten. An der Ökologischen Rheinstation erhalten sie einen für die Schülerinnen und Schüler verständlichen Lebensweltbezug, nämlich zum Leben der Fische.

Experimente zur Hydrostatik und zum Auftrieb

Das hydrostatische Paradoxon besagt, dass nur die Höhe einer Wassersäule Auswirkung auf den hydrostatischen Druck $p(h) = \rho \cdot g \cdot h$ am Fuß dieser Wassersäule hat. Auch Experimente zum hydrostatischen Druck bzw. zum hydrostatischen Paradoxon sind thematisch mit der Ökologischen Rheinstation verknüpft. Ein Experiment zu kommunizierenden Röhren stellt genau dieses Paradoxon für die Schülerinnen und Schüler verständlich dar.

Das Archimedische Prinzip besagt, dass der statische Auftrieb eines Körpers in einem Medium (hier Wasser) genauso groß ist, wie die Gewichtskraft, des vom Körper verdrängten Mediums. Für ein entsprechendes Experiment werden eine Balkenwaage mit Gewichten, ein Metallzylinder (Vollmaterial), ein Hohlzylinder, den der Metallzylinder exakt ausfüllt, ein Gefäß mit Wasser (und Überlaufventil) und ein Auffanggefäß für das übergelaufene Wasser gebraucht. An die eine Seite der Balkenwaage werden der Hohlzylinder und an ihn der Vollzylinder gehangen, an die andere Seite kommen so viele Gewichte, um die Waage auszugleichen. Das Gefäß mit Überlaufventil wird exakt bis zu diesem Ventil mit Wasser gefüllt und nun wird es so lange angehoben, bis der Vollzylinder ganz ins Wasser eingetaucht ist (die Waage bewegt sich). Das übergelaufene und aufgefangene Wasser kann nun in den Hohlzylinder umgefüllt werden. Dabei stellen die Schülerinnen und Schüler fest, dass der Hohlzylinder exakt mit dem Wasser gefüllt ist und dass die Balkenwaage wieder austariert ist.

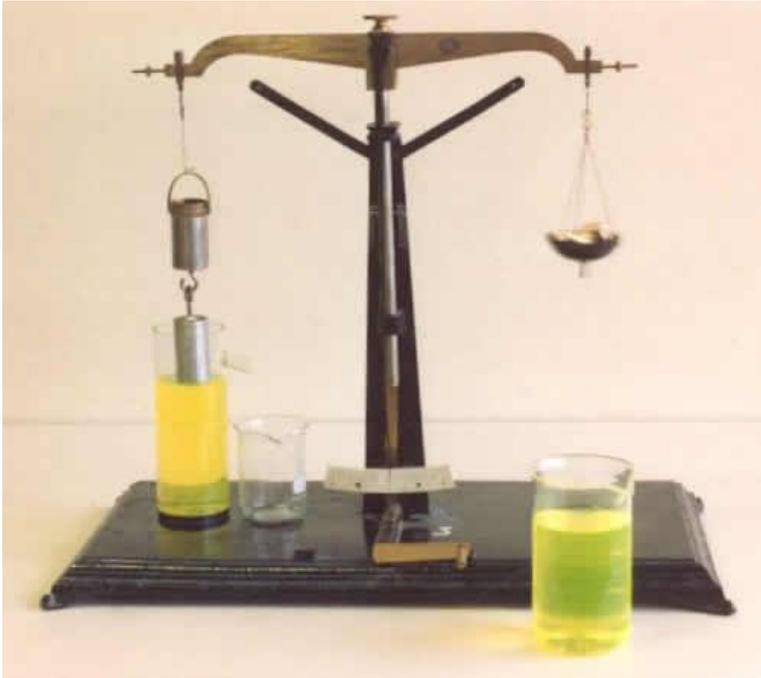


Abbildung 15: Aufbau des beschriebenen Experiment zur Veranschaulichung

Auch diese beiden Experimente können im normalen Schulunterricht Anwendung finden, jedoch erhalten auch sie auf der Ökologischen Rheinstation einen Lebensweltbezug. Ergänzt man das beschriebene Experiment zum Archimedischen Prinzip um ein weiteres Experiment, bei dem aus einem Stück Knete einmal ein Klumpen und einmal ein Schiffsrumpf geformt werden und bringt diese beiden Stücke Knete ins Wasser, so sieht man, dass der Schiffsrumpf schwimmt. So werden das alltagsnahe Phänomen eines schwimmenden Schiffes und das physikalische Thema der Hydrostatik miteinander verknüpft. So wird auf eine der Fragen, der im Vorfeld dieser Arbeit befragten Schülerinnen und Schüler, eingegangen und eine Antwort gegeben.

6.3 Ein Tag auf der Rheinstation aus Sicht der Physik

Es existieren schon eine Vielzahl an Möglichkeiten, einen physikalisch geprägten Lerntag auf der Ökologischen Rheinstation zu gestalten. Dazu kommen die im obigen Kapitel vorgestellten Ideen der Umsetzung und im Laufe der Zeit die Stationen und Umsetzungen, die noch entwickelt werden.

Ein typischer Tag an einem Außerschulischen Lernort dauert von etwa 9.00 Uhr bis etwa 14.30 Uhr. Natürlich gibt es davon große Abweichungen in beide Richtungen, jedoch soll an dieser Stelle nur ein beispielhafter Tag beschrieben werden. In diesen

fünfeinhalb Stunden Anwesenheit der Schülerinnen und Schüler muss auch mindestens eine halbe Stunde Mittagspause und eventuell eine Viertelstunde Frühstückspause vorgesehen werden, sodass an diesem Beispieltag etwas mehr als viereinhalb Stunden Zeit bleiben, auf der Ökologischen Rheinstation zu lernen und zu arbeiten.

Je nach Schülerzahl sollte die Großgruppe in mehrere Kleingruppen unterteilt werden. Üblicherweise hat eine Klasse etwa 25-30 Schülerinnen und Schüler, was sich, wenn man flexibel genug vorgeht, gut in vier, fünf oder sechs Gruppen einteilen lässt. Für dieses Beispiel werden fünf Gruppen mit einer Gruppengröße von je fünf oder sechs Schülerinnen und Schülern angenommen. Der folgende Plan kann aber ebenfalls auf andere Gruppennzahlen oder Schülerzahlen übertragen werden. Da in diesem Plan 5 Stationen durchlaufen werden, müssen 5 Personen zur Beaufsichtigung und Erklärung der Experimente am Ausflugstag auf der Rheinstation sein. Jede Station soll dabei etwa 45 Minuten in Anspruch nehmen.

In der folgenden Tabelle ist der Ablauf für eine der fünf Gruppen aufgestellt (die anderen Gruppen durchlaufen die Einheiten eins bis fünf in einer anderen Reihenfolge):

Phase	Material	Geschehen	Ort	Dauer
Begrüßung	Beamer und evtl. Kartenspiel o.ä. zur Gruppen- einteilung	Begrüßung, Erläuterung Tagesablauf, Sicherheitsbelehrung (Notausgänge), Gruppeneinteilung	Seminar raum	30 min
Einheit 1: „Wie viel Wasser fließt an uns vorbei“	Holz; Maßband; Gewicht; Geodreieck; Blätter	SchülerInnen machen die drei Experimente: Fließgeschwindigkeit, Breitenmessung, Tiefenmessung; anschließend: Rechnen	Seminar raum (hinterer Teil), draußen	45 min

Frühstückspause, 15 min				
Einheit 2: Luftballon- versuche	Luftballons (mit versch. Menge Luft gefüllt); ungefüllte Luftballons; Wasserbecken; Holzplatte mit Loch, um Wasserbecken abzudecken	SchülerInnen bringen versch. Luftballons unter Wasser; SchülerInnen pusten einen Luftballon (gegen Wasserdruck) auf, der mit einer Holzplatte unter Wasser gehalten wird	Bootskell er oder draußen	45 min
Einheit 3: Führung	/	SchülerInnen werden durch das Boot geführt und alle Bereiche werden erklärt	Überall	45 min
Einheit 4: Strömungs- kanal mit Knete	Strömungs- kanal; Knete	SchülerInnen formen mit Knete verschiedene Fische (mit und ohne Schwimmblyase und Flossen) und finden heraus, wie sie auf Strömung reagieren	Boots keller	45 min
Mittagspause, 30 min				
Einheit 5: Animation + Plakat	VR-Brille(n); PC bzw. Beamer evtl. Leinwand; Plakatblätter	Jeweils einE SchülerIn (oder 2) spielen die Animation, die andern Gruppenmitglieder erarbeiten auf Plakat die Station, die sie als erstes gemacht haben	Seminar raum	45 min

Zusammenfassung und Verabschiedung	Plakate aller Gruppen	Gespräch mit Rückmeldung durch alle SchülerInnen, kurze Vorstellung der Plakate	Seminarraum	15 min
------------------------------------	-----------------------	---	-------------	--------

Tabelle 2: Ablauf des Tages, Beispiel einer Kleingruppe

Bei der Phase der Begrüßung und Verabschiedung sind alle Schülerinnen und Schüler zusammen im Seminarraum, um gemeinsam den Tag zu planen und am Ende des Tages alles zu resümieren. Aufgeteilt in die (in diesem Beispiel) 5 Gruppen durchlaufen sie 5 Stationen und zwar jede Gruppe in einer anderen Reihenfolge, sodass sie sich nicht gegenseitig stören. In der *Einheit 5* (die von allen Gruppen in unterschiedlichen Zeitblöcken gemacht wird) erstellt jede Gruppe ein Plakat über die von ihnen zuerst durchlaufene Station, sodass am Ende des Tages von jeder Station eine Zusammenfassung und Erinnerung besteht. Die erstellten Plakate können mit in die Schule genommen und für die Nachbereitung genutzt werden.

7 Ausblick

Die Limnologie beziehungsweise Limnophysik bietet noch viel Raum für weitere Abschlussarbeiten. Die Lebensweise anderer Tiere, die im Rhein vorkommen sowie ihr Lebensraum können Gegenstand anderer Arbeiten sein, um weiter die Verbindung zwischen den Naturwissenschaften Biologie und Physik darzustellen. Auch den Fokus auf Seen zu legen und die limnophysikalischen Aspekte von Seen, wie die Durchmischung und Sauerstoffverteilung, näher zu betrachten, kann als Anlass für aufbauende Arbeiten dienen.

Des Weiteren können direkt an diese Arbeit weitere Arbeiten anknüpfen, die sich zum Beispiel mit den vorgestellten Fischen und deren Animation befassen (ausgenommen der Barbe, da dazu schon eine Bachelorarbeit vom Studenten Dominik Krach verfasst wurde). Die ausführliche Beschreibung der Fische in Kapitel 4 soll als Grundlage für die Animation dienen.

Außerdem bietet auch die in Kapitel 5 angesprochene *Dichte von Wasser* Inhalt für weitere Behandlungen. Der hydrostatische Druck und die damit zusammenhängenden Konsequenzen für den Lebensraum bestimmter Algen oder Tiere ist auch eine Verbindung zwischen den verschiedenen naturwissenschaftlichen Fächern. Zwar wurden in Kapitel 6 schon Ideen für mögliche didaktische Umsetzungen des Themas *Hydrostatik* gegeben, jedoch kann dies noch weiter ausgebaut werden. Fließgeschwindigkeit, Sauerstoff, Einleitung von Chemikalien und die Folgen für das Algenwachstum verbinden die bisherigen Themen mit einer weiteren Naturwissenschaft: der Chemie.

Die im obigen Abschnitt genannten beispielhaften Möglichkeiten für weiterführende Arbeiten beziehen sich vor allem auf inhaltliche Aspekte der Limnologie und Limnophysik. Jedoch können auch auf jedes dieser Beispiele stärker didaktisch orientierte Arbeiten aufbauen, die vornehmlich die Entwicklung sowie Erprobung von Lernmaterialien für den *Außerschulischen Lernort Ökologische Rheinstation* oder ähnliche Orte zum Ziel haben. Hier kann darauf geachtet werden, dass die Materialien entweder nur für die Ökologische Rheinstation genutzt werden können, oder sie werden so entwickelt, dass sie für viele weitere Außerschulische Lernorte zur

Verfügung gestellt werden können. Gerade mit Praxissemesterarbeiten lassen sich diese fachdidaktischen Aspekte erarbeiten und auch in diesem Rahmen erproben – sei es an der Ökologischen Rheinstation oder an anderen Flüssen/Bächen beziehungsweise Seen.

Mit der Erarbeitung weiterer Experimente kann der Ablauf, der in Kapitel 7 beschrieben wurde, immer mehr erweitert, überarbeitet und verbessert werden, sodass der beispielhafte Tag immer flexibler gestaltet und auf die ankommende Klasse zugeschnitten werden kann.

8 Fazit

Ziel dieser Arbeit in der Physikdidaktik war es, einen Grundbaustein für die physikalische Betrachtung des Lebens von Tieren im Fluss zu legen. Zu diesem Zweck habe ich mich zunächst in die biologischen Fakten über den Lebensraum und die Lebensweise bestimmter, im Rhein lebender Fischarten, eingearbeitet und sie dargestellt. Des Weiteren habe ich mich über den Zweck und die Funktionsweise des Seitenlinienorgans und der Schwimmblase informiert und sie mit diversem Hintergrundwissen aus der Biologie und Physik erläutert, sowie die Schwimmbewegung der Fische geschildert und physikalisch behandelt.

Die Ergebnisse dieses Zusammenstellens von biologischen und physikalischen Faktoren liefern neben den fachlichen Erkenntnissen auch viele Anknüpfungspunkte für didaktische Arbeiten und Umsetzungen.

Insofern ist erfreulich zu erwarten, dass mit ausbauendem Arbeiten (in den unterschiedlichen Fachdidaktiken) immer mehr Möglichkeiten und Variationen der Gestaltung des *Außerschulischen Lernorts Ökologische Rheinstation* geschaffen werden können.

Mein persönlicher Erkenntnisgewinn durch diese Arbeit ist sehr hoch. Neben meiner Begeisterung für die Ökologische Rheinstation und die Möglichkeiten ihrer didaktischen Nutzung habe ich einen für mich schönen Abschluss meines Masterstudiums mit seinen Inhalten und Angeboten wahrgenommen und umgesetzt. Auch sehe ich meine Fähigkeit, den an Schulen teilweise praktizierten, *Naturwissenschaft*-Unterricht nun besser halten zu können und die fächerverbindenden sowie fächerübergreifenden Themen auch als solche wahrnehmen, darstellen und erläutern zu können.

Literaturverzeichnis

- Berding, Lars. (2017): Steckbrief Barbe, entnommen von:
<https://www.blinker.de/angelmethode/friedfischangeln/angelsport/steckbrief-barbe/>, am 02.05.18, 10.45h
- Campbell, Neil A./ Reece, Jane B./ Urry, Lisa A./ Cain, Michael L./ Wasserman, Steven A./ Minorsky, Peter V./ Jackson, Robert B.. (2011): Biologie. München: Pearson Education Deutschland GMBH
- Chen, Chen-Tung A./ Millero, Frank J.. (1986): Precise Thermodynamic Properties für Natural Waters Covering Only the Limnological Range. In: Limnology and Oceanography, 3/1986, 657-662
- Daniel, Gunter. (2017): Fisch des Jahres 2016: Hecht (*Esox lucius*), entnommen von:
<https://www.dafv.de/projekte/fisch-des-jahres/item/94-fisch-des-jahres-2017.html>, am 27.05.18, 15.03h
- Deutscher Angelfischerverband e.V. (Hrsg.). (2016): Fisch des Jahres 2016 : Der Hecht (*Esox lucius*), entnommen von:
https://archiv.dafv.de/files/fisch_des_jahres/fdj_2016_hecht_Leseprobe.pdf, am 27.05.18, 15.15h
- Deutscher Angelfischerverband e.V.. (2018): Fisch des Jahres. entnommen von:
<https://archiv.dafv.de/index.php/projekte-aktionen/fisch-des-jahres>, am 27.05.18, 16.17h
- Dumke, Holger. (2015): Neues Leben im Rhein – Fischarten kehren zurück, entnommen von:
<https://www.derwesten.de/region/neues-leben-im-rhein-fischarten-kehren-zurueck-id10726284.html>, am 11.06.18, 7.59h
- Frech, Marie. (2016): Grundel-Invasion im Rhein ist außer Kontrolle, entnommen von:
<https://www.welt.de/wissenschaft/umwelt/article154248072/Grundel-Invasion-im-Rhein-ist-ausser-Kontrolle.html>, am 12.04.18, 11.02h
- Freimuth, Dr. Axel. (2018): Ökologische Rheinstation der Universität zu Köln, entnommen von:
<http://rheinstation.uni-koeln.de/>, am 15.08.18, 13.14h
- Freundeskreis Aquazoo Düsseldorf. (2017): Hechte und Steinbeißer zurück im Rhein, entnommen von:
https://aquazoofreundeskreis.wordpress.com/2017/04/28/hechte_steinbeisser_zurueck_im_rhein/, am 26.05.18, 12.17h
- Freyhof, J.. (2011): *Barbus barbus*. The IUCN Red List of Threatened Species, entnommen von:
<http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2011-1.RLTS.T2561A9454585.en>, am 02.05.18, 16.30h
- Fröhlich, Heiko. (ohne Jahr): Barbe, entnommen von: <http://www.fische-arten.de/fischarten/barbe/>, am 02.05.18, 12.01h

- Gallardo, Belinda/ Aldridge, David C.. (2014): Is Great Britain heading for a Ponto-Caspian invasional meltdown?, entnommen von: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12348>, am 09.04.18, 13.24h
- Gertzen, Svenja. (2016): Invasion der Grundeln im Rhein. PowerPoint-Präsentation zum Deutschen Fischereitag, Potsdam, entnommen von: http://www.vdff-fischerei.de/fileadmin/daten/pdf-Dokumente/Stellenangebote/Gertzen_VDFF_01.pdf, am 08.04.18, 8.09h
- Goulet, Julie/ Engelmann, Jacob/ Chagnaud, Boris/ Franosch, Jan-Moritz/ Hemmen, J Leo van. (2007): Object localization through the lateral line system of fish. Entnommen von: doi: 10.1186/1471-2202-8-S2-S6, am 25.05.18, 16.57h
- Hagenmaier, Hans E.. (1997): Die Schwimmblase bei Fischen. In: Praxis der Naturwissenschaften, 5/97, 4-8.
- Hassan, El-S.. (1992): Mathematical description of the stimuli to the lateral line system of fish derived from a three-dimensional flow field analysis. In: Biological Cybernetics, 5/1992, 443-452
- Hofsähs, Ulrike. (2014): Zander und Lachs schwimmen wieder im Rhein, entnommen von: <https://www.welt.de/regionales/duesseldorf/article123698769/Zander-und-Lachs-schwimmen-wieder-im-Rhein.html>, am 10.06.18, 19.02h
- Kircher, Ernst/ Girwidz, Raimund/ Häußler Peter (Hrsg.). (2009): Physikdidaktik. Berlin. Springer-Verlag
- Kornev, Nikolai. (2009): Propellertheorie. Vorlesungsskript. Universität Rostock
- Landesfischereiverband Baden-Württemberg e.V. (Hrsg.). (2016): Fisch des Jahres 2016 : der Hecht, entnommen von: https://www.lfvbw.de/images/beitraege/Naturschutz/FdJ_2016_Hecht.pdf, am 28.05.18, 09.42h
- LuontoPortti/ NatureGate. (2018): Hecht, entnommen von: <http://www.luontoportti.com/suomi/de/kalat/hecht>, am 04.06.18, 7.55h
- Markgraf-Maué, Klaus. (ohne Jahr): Lebendiger Rhein : Wasserstraße und Naturlandschaft, entnommen von: <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/fluesse/rhein/index.html>, am 05.05.18, 20.15h
- Mattern, Jürgen. (2015): Praxishandbuch Gewässerwart : Lehrgangs- und Praxisbegleiter. Stuttgart: Franckh-Kosmos Verlags-GmbH & Co. KG
- Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. (ohne Jahr): Wanderfischprogramm, entnommen von: <https://www.umwelt.nrw.de/naturschutz/natur/biologische-vielfalt-und-biodiversitaetsstrategie-nrw/wanderfischprogramm/>, am 23.07.18, 11.05h

- Mogdans, Joachim/ Bleckmann, Horst. (2012): Coping with flow: behavior, neurophysiology and modeling of the lateral line system. In: Biological Cybernetics, 11-12/2012, 627-642
- Müller-Esterl, Werner. (2018): Biochemie : Eine Einführung für Mediziner und Naturwissenschaftler. Berlin: Springer Spektrum
- Neukamm, Rüdiger. (2018): Die Schwarzmundgrundel – eine neue Art erobert den Nord-Ostsee-Kanal, entnommen von: <http://www.fischschutz.de/fremdarten/68-die-schwarzmundgrundel-eine-neue-art-erobert-den-nord-ostsee-kanal>, am 09.04.18, 9.41h
- Pelster, Bernd. (1993): Die Schwimmblase als hydrostatisches Organ. In: Biologie in unserer Zeit, 4/93, 254-258
- Pelster, Bernd/ Scheid, Peter. (1994): Gegenstromkonzentrierung in der Schwimmblase : Die Erzeugung hoher Partialdrücke durch das Zusammenspiel von zellulärem Stoffwechsel und Organdurchblutung. In: Naturwissenschaften, 11/1994, 473-480
- Pfeifer, Walter. (1990): Das Erwachsenenspiel. Eine pädagogische Standortbestimmung. Dissertation, Westfälische Wilhelmsuniversität zu Münster
- Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (a). (ohne Jahr): Fischfauna des Rheins. entnommen von: <http://www.rheinfischerei-nrw.de/fischerei-themen/fischfauna-des-rheins/>, am 04.05.18, 10.43h
- Rheinfischereigenossenschaft im Lande NRW (b). (ohne Jahr): Grundel-Problematik. entnommen von: <http://www.rheinfischerei-nrw.de/fischerei-themen/grundel-problematik/>, besucht am 14.04.18, 11.36h
- Roth, Werner. (1974): Eine Theorie über die Schwimmbewegung von Fischen. In: Acta Mechanica, 3-4/74, 285-301
- Sauerborn, Petra/ Brühne, Thomas. (2012): Didaktik des Außerschulischen Lernens. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Schönborn, Wilfried/ Risse-Buhl, Ute. (2013): Lehrbuch der Limnologie. Stuttgart: Schweizerbart
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH (a). (ohne Jahr): Seitenlinienorgane. In: Spektrum : Lexikon der Neurowissenschaft, entnommen von: <https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/seitenlinienorgane/11615>, am 24.04.18, 11.17h
- Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH (b). (ohne Jahr): Lorenzini-Ampullen. In: Spektrum : Kompaktlexikon der Biologie, entnommen von: <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/lorenzini-ampullen/7111>, am 25.05.18, 15.33h
- Südwestrundfunk. (2018): Eingeschleppte Fischart in Rhein und Mosel : Schwarzmundgrundel bedroht heimische Fische, entnommen von:

<https://www.swr.de/swraktuell/rp/koblenz/eingeschleppte-fischart-in-rhein-und-mosel-schwarzmundgrundel-bedroht-heimische-fische/-/id=1642/did=19826422/nid=1642/10fsgwj/index.html>, besucht am 01.05.18, 15.56h

Tipler, Paul A./ Mosca, Gene. (2004): Physik : Für Wissenschaftler und Ingenieure. München: Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag

WESO Software GmbH (a). (ohne Jahr): Fischart: Barbe, Pigge, Flussbarbe (*Barbus barbus*), entnommen von: https://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/fische-suchen.php?fisch_id=0000000002, am 28.05.18, 16.34h

WESO Software GmbH (b). (ohne Datum): Fischart: Hecht (*Esox lucius*), entnommen von: https://www.fischlexikon.eu/fischlexikon/fische-suchen.php?fisch_id=0000000008, am 03.06.18, 15.42h

Wiesner, Christian; Wolter, Christian; Rabitsch, Wolfgang; Gehring, Stefan. (2010): Gebietsfremde Fische in Deutschland und Österreich und mögliche Auswirkungen des Klimawandels

Abbildungsverzeichnis und Quellen

Abbildung 1: Karte der Stadt Köln, es sind die Humanwissenschaftliche Fakultät und die Anlagestelle der ÖRS markiert	7
Abbildung 2: Die Ökologische Rheinstation.....	7
Abbildung 3: Hjulstöm-Diagramm.....	9
Abbildung 4: Wirkung von Buhnen auf die Fahrbahntiefe und den Wasserpegel.....	14
Abbildung 5: Zwei Buhnen mit der Strömung, den entstehenden Verwirbelungen und den daraus resultierenden Sedimentablagerungen	15
Abbildung 6: Schwarzmundgrundel	16
Abbildung 7: Barbe.....	19
Abbildung 8: Hecht.....	21
Abbildung 9: (a): Die Schwimmblase ist mit dem Darm verbunden; (b): Die Schwimmblase ist in zwei Kammern aufgeteilt und hat eine Gasdrüse, trotzdem ist sie mit dem Darm verbunden; (c): Die Schwimmblase ist nicht mit dem Darm verbunden, der Fisch hat eine Gasdrüse	26
Abbildung 10: Die Retia mirabilia von Arterie (oben) und Vene (unten), rechts im Bild die Schwimmblasenwand sowie die Gasdrüse	27
Abbildung 11: Aus der Gasdrüse strömt eine Säure in die Vene	28
Abbildung 12: Gassekretion aus dem Rete in die Schwimmblase. Die Dichte der Punkte symbolisiert den gelösten Sauerstoff	29
Abbildung 13: Unterschied zwischen SN und CN.....	37
Abbildung 14: Der Strömungskanal im Bootskeller	47
Abbildung 15: Aufbau des beschriebenen Experiment zur Veranschaulichung	49

Abbildung 1: erstellt mit Google Earth

Abbildung 2: <http://www.lernlabore-mnf.uni-koeln.de/14979.html>, besucht am 21.08.18, 12.12h

Abbildung 3: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hjulstr%C3%B6m-Diagramm>, besucht am 21.08.18, 12.20h

Abbildung 4: <https://de.wikipedia.org/wiki/Buhne>, besucht am 23.08.18, 15.19h

Abbildung 5: <https://www.dlrg.de/informieren/gedahren/fliessende-gewaesser.html>, besucht am 23.08.18, 15.22h

Abbildung 6: http://www.sf-kemmern.de/HP_NEU/Fischlexikon/Schwarzmundgrundel.php, besucht am 21.08.18, 12.56h

Abbildung 7: <https://de.wikipedia.org/wiki/Barbe>, besucht am 21.08.18, 12.59h

Abbildung 8: <https://de.wikipedia.org/wiki/Hecht>, besucht am 21.08.18, 13.02h

Abbildung 9: Hagenmaier 1997, S. 7

Abbildung 10: ebd., S. 7

Abbildung 11: Pelster 1993, S. 255

Abbildung 12: Hagenmaier 1997, S. 8

Abbildung 13: Mogdans/ Bleckmann 2012, S. 628

Abbildung 14: https://www.qualitaetsoffensive-lehrerbildung.de/intern/upload/results/01JA1515_Poster_CL_Rheinboot_Keiler_DGL2016.pdf, besucht am 23.08.18, 15.44h

Abbildung 15: <https://www.leifiphysik.de/themenbereiche/auftrieb-und-luftdruck/lb/barometer-dosenbarometer>, besucht am 23.08.18, 16.01h

Anhang

Interessensabfrage

Hier sind die Ergebnisse der Interviews stichpunktartig aufgeführt. Alle Befragten (bzw. ihre Erziehungsberechtigten) waren mit der Nennung ihres Anfangsbuchstabens, ihrer Stufe und ihres Alters einverstanden.

F, Stufe 10, 15 J,

Was wird auf dem Boot erforscht, wer forscht da?

Kenntnisse über das Boot erlangen

Info über Pflanzen und Fische, Aufbau von Pflanzen am Rhein

A, Stufe 10, 15 J,

Warum ist das Schiff da? Was wird da gemacht?

Algen

L, Stufe 9, 16 J,

Wie funktioniert eine Schiffsschraube?

(Wie hält ein Prof eine Vorlesung?, Entstehung Siebengebirge, Wasser untersuchen -> Knallgasprobe)

Flussleben (Was im Rhein schwimmt), Warum schwimmt ein Schiff?

I, Stufe 13, 18 J,

Unterschied zwischen Ökologisch und Ökonomisch? Wird hier irgendwas hergestellt?

Haben die Fisch-Exponate was mit der Forschung zu tun, oder ist das ein modischer Tick?

Anwendung theoretischer physikalischer Gesetze im Rhein

L, Stufe 9, 15 J,

Warum schwimmt das Boot? Wird das auch noch für was anderes genutzt?

Pflanzen und Fische im Rhein

Physik/Mathe: Spiegelungen an der Wasseroberfläche

E, Stufe 7, 12 J,

erster Gedanke: Fahrt über den Rhein

Aufbau des Bootes – Warum schwimmt es? Allg.: Wie schwimmen Boote, wie können Schiffe fahren?

Wie leben Fische unter Wasser?

N, Stufe 7, 12 J,

Pflanzen im Rhein, Lebewesen im Rhein

Wie schaffen die Fische es nicht gegen ein Schiff zu schwimmen?

H, Stufe 9, 15 J,

Welche Tiere leben im Rhein? Kommen die aus Deutschland oder sind die eingereist?

Möglichkeit der Energiegewinnung im Rhein

Verschmutzung des Rheins

Zusammenhänge der Flüsse

A, Stufe 9, 14 J,

Was befindet sich im Rhein? Umwelt

Lebewesen im Meer, Körperbau

Durch welche Länder fließt der Rhein?

L, Stufe 8, 13 J,

Forschung im Rhein

Strömung im Rhein, Wie misst man die Strömung, Nährstoffe -> Lebewesen

Fische im Rhein, Was fressen sie, wieso leben sie da

Fakten über den Rhein, durch welche Länder fließt der Rhein?

M, Stufe 13, 19 J,

irgendwas zu Köln und Rhein

J, Stufe 13, 19 J,

Ökologie / Wasser

N, Stufe 11, 17 J,

Zusammenhang zwischen Fluss und Umgebung

Großes Interesse für Fische, welche Fische sind im Rhein, sind diese Fische auch in anderen Gewässern, die aber vllt. ähnlich sind, Körperaufbau der Rheinfische (Fische in Strömung vs. Fische im stehenden Gewässer)

Boden vom Fluss, Querschnitt vom Fluss (Tiefe), wo sind welche Lebewesen/Pflanzen

Chemische Besonderheit des Flusses und wie es sich auf alles andere auswirkt

Strömung, wieso hat ein Fluss diese Strömung? Wie bestimmt sie das Leben im Fluss?

T, Stufe 11, 16 J,

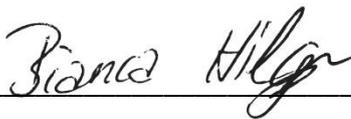
Warum schwimmt das Boot? Gibt es irgendwelche Besonderheiten?

Wieso schwimmen Fische? Welche Fische gibt es? Warum sind sie da wo sie sind?

Erlaubnis zur Veröffentlichung

Ich genehmige den Abdruck und die Vervielfältigung dieser Arbeit für nicht-gewerbliche Zwecke, auch in digitaler Form und auf Webseiten, unter der Bedingung der Namensnennung (CC-BY-SA).

Zülpich, 24.08.2018



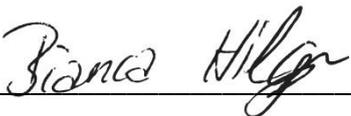
A handwritten signature in black ink, reading "Bianca Hilger", is written over a horizontal line.

(Bianca Hilger)

Erklärung der Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne die Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten und nicht veröffentlichten Schriften entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden. Ich versichere, dass die eingereichte elektronische Fassung der eingereichten Druckfassung vollständig entspricht.

Zülpich, 24.08.2018



(Bianca Hilger)