



**Institut für Binnenfischerei e.V.**  
**Potsdam-Sacrow**  
Im Königswald 2  
14469 Potsdam

---

Literaturrecherche

## **Temperatur- und Sauerstoff-Toleranz ausgewählter Wanderfischarten der Elbe**

Auftraggeber: Wassergütestelle Elbe  
Neßdeich 120  
21129 Hamburg

Auftragnehmer: Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow  
Im Königswald 2  
14469 Potsdam, OT Groß Glienicke

Bearbeiter: Dipl.-Biol. S. A. Otto  
Dipl.-Fischereiing. S. Zahn

---

November 2008

## Aufgabenstellung

Im Zuge der Erstellung eines neuen Wärmelastplanes für den durch die Tide beeinflussten Elbeabschnitt vom Wehr Geesthacht bis Cuxhaven wurde das Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow von der Wassergütestelle Elbe beauftragt, eine Literaturstudie zu Temperatur- und Sauerstoff-Toleranz ausgewählter Fischarten durchzuführen.

Die bestehenden Kraftwerke in diesem Gebiet wie auch die mögliche Inbetriebnahme weiterer relevanter Kühlwassernutzer können zu einer Erhöhung der Gewässertemperatur durch die Rückleitung des erwärmten Kühl- sowie Betriebswassers führen, während der Betrieb von Wasserpumpen zu einer Temperaturerniedrigung führen kann. Die Gefahr einer einleitungsbedingten Erhöhung der Gewässertemperatur ist allerdings größer, da es gleichzeitig zu einer Minderung der Sauerstoffsättigung im Wasser kommen kann. Dies kann sich negativ auf die hier vorrangig lebende Fisch- und Gewässerfauna sowie insbesondere auf die Wanderfischarten, die diesen Elbabschnitt zur Durchwanderung nutzen, auswirken. Da Fische hinsichtlich Temperatur- und Sauerstoff artspezifische Toleranzbereiche aufweisen, ist das Ziel dieser Recherche, die jeweiligen Optima, Präferenzen sowie oberen und unteren kritischen Werte zu ermitteln.

Der Fokus liegt dabei auf den - größtenteils besonders gefährdeten und unter besonderen Schutz stehenden - anadromen Fischarten **Atlantischer Lachs** (*Salmo salar*), **Meerforelle** (*Salmo trutta trutta*), **Finte** (*Alosa fallax*), **Maifisch** (*Alosa alosa*), **Nordseeschnäpel** (*Coregonus oxyrhynchus*), **Stint** (*Osmerus eperlanus*, Wanderform), **Dreistachliger Stichling** (*Gasterosteus aculeatus*), **Flussneunauge** (*Lampetra fluviatilis*), **Meerneunauge** (*Petromyzon marinus*) und **Atlantischer Stör** (*Acipenser sturio*), dem katadromen **Europäischen Aal** (*Anguilla anguilla*), den potamodromen Arten **Rapfen** (*Aspius aspius*) und **Quappe** (*Lota lota*), der amphidromen **Flunder** (*Platichthys flesus*) und dem ozeanodromen **Hering** (*Clupea harengus harengus*). Der in der Elbe aktuell nicht mehr nachweisbare Atlantische Stör wurde in die Recherche mit aufgenommen, da das Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin (IGB) ab 2009/2010 Besatzmaßnahmen in der Elbe plant.

## Methoden und Informationsquellen

Zur Ermittlung nachgewiesener Toleranzgrenzen bezüglich Wassertemperatur und gelöstem Sauerstoff wurde der vorhandene Literaturbestand der Institutsbibliothek gesichtet. Dabei wurden Monographien, Sammelwerke, Zeitschriften und Bücher im Bereich Fischökologie, -biologie und -gesundheit, Pathologie, Toxikologie und Aquakultur ausgewertet. Daneben wurde im Internet und in Online-Datenbanken mit verschiedenen Schlagwörtern in deutscher und englischer Sprache recherchiert und bei der Bundesanstalt für Fischerei eine Recherche im Informationssystem ASFA (Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts) über englische Schlagwörter in Auftrag gegeben. Nach Sichtung der ersten relevanten Literatur erfolgte die gezielte Recherche nach Autoren bzw. wissenschaftlichen Aufsätzen und Büchern.

Die ermittelten lebensstadien-, art- oder gruppenspezifischen Optimal-, Präferenz- und Grenzwerte sind jeweils einzeln mit der entsprechenden Literaturquelle aufgelistet worden und als Anhangstabelle beigefügt. Falls die Autoren Zusatzinformation (wie z.B. Temperaturen bei den entsprechenden Sauerstoffbedürfnissen) gegeben haben, sind diese unter „Bemerkungen“ eingetragen worden. Für die zu betrachtenden Fischarten wurden diese zusätzlich für die jeweilige Art, aufgeschlüsselt nach Lebensstadium, zusammengefasst. Dabei wurde die Spannweite der niedrigsten und höchsten Werte angegeben.

Darauf basierend wurden unter Berücksichtigung international festgesetzter Standardwerte und Richtlinien Empfehlungen abgeleitet.

## Literaturauswertung

### Charakterisierung des unteren Elbeabschnitts und der Ichthyofauna

Von der Meeresmündung bis zur Staustufe Geesthacht wird die Untere Elbe von den Gezeiten beeinflusst und daher auch Tideelbe genannt. Der Tidenhub beträgt hier bis zu 3,6 m, die Salinität schwankt zwischen 0 - 32 ‰ (THIEL *et al.* 2003). Die Elbe führt in diesem Abschnitt große Wassermassen mit der Ebbe und Flut hin und her. Die Strömungsgeschwindigkeit ist gegenüber der Mittleren und Oberen Elbe deutlich herabgesetzt, so dass sich Schwebstoffe (insbesondere während der Kenterphasen) leicht absetzen können. Besonders stark ausgeprägt ist die Sedimentablagerung im Hamburger Bereich, wo der Gewässergrund eher sandig/schlammig und für lithophile Arten wie Lachs, Meerforelle, Rapfen oder Neunaugen als Laichplatz weniger geeignet ist. Das Wasser kann hier im Allgemeinen Temperaturen von > 23 °C erreichen. THIEL *et al.* (2003) konnten für die Tideelbe einen Schwankungsbereich von 0 - 25 °C über einen Zeitraum von mehreren Jahren nachweisen. Der Sauerstoffgehalt kann räumlich sehr stark variieren. So stellten MÖLLER & SCHOLZ (1991) von Juli – Oktober 1985 im Durchschnitt kontinuierlich abnehmende Konzentrationen von 6,6 mg O<sub>2</sub>/l im Mündungsbereich bis 1,4 mg O<sub>2</sub>/l in Hamburg fest. Regelmäßig kommt es im Frühjahr bei Brunsbüttel zur Ausbildung einer sauerstoffarmen Zone, die sich im Laufe der darauf folgenden Monate bei steigenden Wassertemperaturen und Zunahme der mikrobiellen Stoffumsetzungen Richtung Hamburg verschiebt (GAUMERT & BERGEMANN 2007, KÖHLER 1981).

Laut GAUMERT (1995) kann der Abschnitt zwischen dem Wehr Geesthacht und dem westlichen Hamburger Randgebiet ichthyofaunistisch zur Blei- bzw. Brassenregion zugeordnet werden, der Bereich stromabwärts der Kaulbarsch-Flunder- Region.

Zu den am häufigsten vertretenen Fischarten in der Bleiregion der Elbe zählen neben dem Blei noch Aland, Flussbarsch, Döbel, Gründling, Plötze und Ukelei (BORKMANN & FRENZEL 2006). In der Unteren Tideelbe kommen neben Flunder und Kaulbarsch vor allem Finte, Hering, Dreistachliger Stichling, Stint und Aal vor (MÖLLER & SCHOLZ 1991, THIEL *et al.* 2003).

Letztere Arten leben einen großen Teil ihres Lebens im Ästuar und im anschließenden Küstenbereich. So zum Beispiel die Flunder, die nur zum Laichen in den Wintermonaten wärmere Meeresregionen aufsucht. Die Larvenstadien wandern anschließend zurück in das Ästuar. Besonders Juvenilstadien kommen hier in großer Anzahl vor, die im Sommer gerne noch weiter stromaufwärts wandern (THIEL *et al.* 2003). Im Frühjahr ziehen Stint (März – April) und Dreistachliger Stichling (März – Juli) zum Ablachen weiter stromaufwärts. Letzterer soll entgegen THIEL *et al.* (1995) kein Ästuar bewohnender Fisch sein, sondern eine anadrome Wanderform, die nur zur Durchwanderung (v.a. im Winter bei niedrigen Wassertemperaturen) im unteren Elbabschnitt vorkommt. Auch die Finte sucht den Fluss hauptsächlich zur Laichzeit (Mai – Juli) und bei hohen Wassertemperaturen im Sommer auf. Ihr Laichgebiet liegt allerdings weiter im Unterlauf. In der Elbe befinden sich die Laichplätze direkt stromabwärts von Hamburg (GERKENS & THIEL 1992, KÖHLER 1981, THIEL *et al.* 1996). Von der hohen Anzahl an nachgewiesenen Heringen befanden sich noch viele Individuen im Juvenilstadium. Dies liegt darin begründet, dass auch Heringe das Ästuar zum Ablachen aufsuchen. Dagegen hält sich der Aal längere Zeit in der Kaulbarsch-Flunder-Region auf, bevor er zum Laichen Richtung Sargassosee wandert. Gleichzeitig verweilen in diesem Bereich die Glasaalstadien um sich an den unterschiedlichen Salzgehalt zu gewöhnen, bevor sie weiter in den Oberlauf ziehen zu können.

Der gesamte Gewässerabschnitt vom Wehr Geesthacht bis Cuxhaven dient neben dem Stint und Dreistachligen Stichling auch anderen stromaufwärts laichenden Langdistanzwanderarten wie Lachs, Meerforelle, Flussneunauge und Meerneunauge als Durchzugsgebiet oder temporärer Aufenthaltsort. So konnten THIEL *et al.* (2003) im Rahmen einer Langzeitstudie insgesamt 88 % der gefangenen Individuen den anadromen Fischarten zuordnen. Während die adulten Arten dieses Gebiet kurz vor der Laichzeit durchwandern, verweilen die juvenilen Stadien etwas länger im Ästuar, bevor sie ihre Reise ins Meer fortsetzen. Beim Meerneunauge wurde sogar ein Zeitraum von 23 – 29 Monaten festgestellt (GALLANT *et al.* 2006).

Durch anthropogene Einflüsse entspricht das aktuelle Bild der Fischgemeinschaft der Elbe in weiten Bereichen nicht mehr dem ursprünglichen Zustand. Während Arten wie Graskarpfen und Zwergwels als Neozoen in der Unteren Elbe anzutreffen sind, lassen sich beispielsweise Barben hier nicht mehr nachweisen (GAUMERT 1995). In Folge der Umsetzung der EG-WRRL wird nun angestrebt, die natürliche Fauna bis 2015 wieder herzustellen, wofür fischfaunistische Referenzbilder für die Elbe entwickelt wurden (BORKMANN 2006, GAUMERT 2006, WOLTER *et al.* 2004) (s. auch Tabelle 1).

Nordseeschnäpel, Quappe und Maifisch, die in der Tideelbe laut Referenzbilder zu erwarten sind, konnten von KÖHLER (1981), MÖLLER & SCHOLZ (1991) und THIEL *et al.* (2003) zwischen 1978 und 1995 nicht nachgewiesen werden. Der mangelnde Nachweis für diese Arten kann zwar auch methodisch bedingt sein - denn laut GAUMERT (1995) existierte die Quappe zwischen 1991-1993 -, mit Sicherheit liefert es jedoch einen Hinweis darauf, dass zu dieser Zeit lediglich nur jeweils Einzelexemplare vorkamen.

Dieses Missverhältnis hat sich mittlerweile geändert. Während der Maifisch, der bis vor 150 Jahren noch regelmäßig bis in den Brandenburger Elbabschnitt zog, seit 1950 in Brandenburg als verschollen galt, werden seit Anfang der 1990er Jahre wieder vereinzelt Exemplare im sächsischen und brandenburgischen Elbabschnitt gesichtet (BRÄMICK 2001). Als Hauptgründe werden dafür die Verbesserung der Wasserqualität und die Einrichtung von Fischaufstiegsanlagen in der Elbe und ihrer Nebenflüsse angeführt. Auch Fänge des Nordseeschnäpels in der unteren Elbe werden wieder gemeldet. Für die Elbe gilt diese Großcoregonenart seit Mitte der 1930er Jahre als verschwunden (BAUCH 1958). Besatzmaßnahmen in der unteren (JÄGER 1999) und mittleren Elbe (KNÖSCHE & ZAHN 2006) sowie deren Nebenflüssen, die seit 1997 laufen, führten bereits zu ersten Sichtungen laichreifer Exemplare unterhalb von Geesthacht (KNÖSCHE & ZAHN 2006). Ein Vorkommen der Quappe wurde von FLADUNG *et al.* (2004), KAMMERAD *et al.* (1997) und KNÖSCHE (2001) für die letzten Jahren bestätigt. Im Hinblick auf den Atlantischen Stör ist festzuhalten, dass das Leibniz-Institut für Gewässerökologie und Binnenfischerei Berlin (IGB) Besatzmaßnahmen in der Elbe für 2009/2010 geplant hat. Laut Referenzbild ist der Atlantische Stör mit einer relativen Häufigkeit von 0,3 – 0,4 % unterhalb der Tieflandbarbenregion vertreten.

Das stark zurückgegangene Auftreten des Lachses, der Meerforellen und der Fluss- und Meerneunaugen konnte aufgrund mehrerer Wiederansiedlungsprojekte im Elbegebiet (Lachs, Meerforelle) (VDSF 2003), sowie deutlich verbesserter Laichplatzbedingungen (Fluss- und Meerneunauge) in den letzten beiden Jahrzehnten merklich erhöht werden. So zählte beispielsweise SCHUBERT (1996) zwischen April und Juni 1996 mit den am Fischpass der Staustufe Geesthacht aufgestellten Reusen 10.895 Flussneunaugen. Auch in der Stepenitz, einem Nebenfluss der Elbe in Brandenburg, wurden über 6.000 Individuen von WOLF (2008) nachgewiesen.

Tabelle 1: Fischfaunistisches Referenzbild für die Brachsenregion der Tideelbe und die limnische Kaulbarsch-Flunder-Region (nach GAUMERT 2006). Die in dieser Studie betrachteten Mittel- und Langdistanzwanderer sind in fett hervorgehoben. Da sich der Hering mehr im Mündungsgebiet aufhält, erscheint die Fischart nicht im Referenzbild der limnischen Kaulbarsch-Flunder-Region.

| Fischart                  | Wiss. Bezeichnung                  | Blei- bzw.<br>Brachsenregion                                     | Limnische<br>Kaulbarsch-<br>Flunder-Region                         |
|---------------------------|------------------------------------|--|--|
|                           |                                    | Typ 20 Tideelbe (SkM<br>585,9 bis 634,0)<br>Relativer Anteil [%] | Typ 22.3 Tideelbe (SkM<br>634,0 bis 654,9)<br>Relativer Anteil [%] |
| <b>Aal</b>                | <i>Anguilla anguilla</i>           | 5,0  | 6,0  |
| Aland                     | <i>Leuciscus idus</i>              | 5,0  | 4,0  |
| <b>Atlantischer Lachs</b> | <i>Salmo salar</i>                 | <b>0,4</b>   | <b>0,5</b>   |
| <b>Atlantischer Stör</b>  | <i>Acipenser sturio</i>            | <b>0,4</b>   | <b>0,4</b>   |
| Barbe                     | <i>Barbus barbus</i>               | 0,1  |  |
| Barsch                    | <i>Perca fluviatilis</i>           | 4,5  | 3,0  |
| Bitterling                | <i>Rhodeus amarus</i>              | 0,1  | 0,1  |
| Brachsen, Blei            | <i>Abramis brama</i>               | 8,0  | 5,0  |
| Döbel                     | <i>Leuciscus cephalus</i>          | 0,7  | 0,1  |
| <b>Dreist. Stichling</b>  | <i>Gasterosteus aculeatus</i>      | <b>5,0</b>   | <b>7,0</b>   |
| <b>Finte</b>              | <i>Alosa fallax</i>                | <b>1,0</b>   | <b>2,0</b>   |
| <b>Flunder</b>            | <i>Platichthys flesus</i>          | <b>5,0</b>   | <b>6,0</b>   |
| <b>Flussneunauge</b>      | <i>Lampetra fluviatilis</i>        | <b>1,8</b>   | <b>2,0</b>   |
| Giebel                    | <i>Carassius gibelio</i>           | 0,1  | 0,1  |
| Gründling                 | <i>Gobio gobio</i>                 | 4,5  | 1,0  |
| Güster                    | <i>Abramis bjoerkna</i>            | 5,0  | 3,0  |
| Hasel                     | <i>Leuciscus leuciscus</i>         | 0,3  | 0,1  |
| Hecht                     | <i>Esox lucius</i>                 | 0,2  | 0,1  |
| Karausche                 | <i>Carassius carassius</i>         | 0,1  | 0,1  |
| Karpfen                   | <i>Cyprinus carpio</i>             | 0,1  | 0,1  |
| Kaulbarsch                | <i>Gymnocephalus cernuus</i>       | 11,0   | 15,0   |
| <b>Maifisch</b>           | <i>Alosa alosa</i>                 | <b>0,1</b>   | <b>0,1</b>   |
| <b>Meerforelle</b>        | <i>Salmo trutta trutta</i>         | <b>0,4</b>   | <b>0,5</b>   |
| <b>Meerneunauge</b>       | <i>Petromyzon marinus</i>          | <b>0,3</b>   | <b>0,4</b>   |
| Moderlieschen             | <i>Leucaspius delineatus</i>       | 0,1  | 0,1  |
| Nase                      | <i>Chondrostoma nasus</i>          | 0,1  |  |
| <b>Nordseeschnäpel</b>    | <i>Coregonus oxyrhynchus</i>       | <b>1,2</b>   | <b>1,5</b>   |
| <b>Quappe</b>             | <i>Lota lota</i>                   | <b>2,0</b>   | <b>2,0</b>   |
| <b>Rapfen</b>             | <i>Aspius aspius</i>               | <b>2,0</b>   | <b>2,0</b>   |
| Rotauge, Plötze           | <i>Rutilus rutilus</i>             | 8,0  | 6,0  |
| Rotfeder                  | <i>Scardinius erythrophthalmus</i> | 0,1  | 0,1  |
| Schlammpeitzger           | <i>Misgurnus fossilis</i>          | 0,1  | 0,1  |
| Schleie                   | <i>Tinca tinca</i>                 | 0,1  | 0,1  |
| Schmerle                  | <i>Barbatula barbatula</i>         | 0,1  |  |
| Steinbeißer               | <i>Cobitis taenia</i>              | 0,1  |  |
| <b>Stint</b>              | <i>Osmerus eperlanus</i>           | <b>18,2</b>  | <b>27,7</b>  |
| Ukelei                    | <i>Alburnus alburnus</i>           | 6,0  | 2,0  |
| Weißflossengründling      | <i>Gobio albipinnatus</i>          |  |  |
| Wels                      | <i>Silurus glanis</i>              | 0,1  | 0,1  |
| Zährte                    | <i>Vimba vimba</i>                 | 0,2  | 0,1  |
| Zander                    | <i>Sander lucioperca</i>           | 1,4  | 1,0  |
| Zope                      | <i>Abramis ballerus</i>            | 1,0  | 0,5  |
| Zwergstichling            | <i>Pungitius pungitius</i>         | 0,1  | 0,1  |

## Einfluss von Temperatur und Sauerstoff auf Fische

Wassertemperatur und Sauerstoff spielen neben anderen Umweltparametern die wesentliche Rolle bei den Lebensvorgängen bei Fischen. In natürlichen Gewässern wird der Sauerstoffgehalt durch die Bilanz zwischen Einträgen aus der Luft und der Photosynthese von Algen sowie höheren Wasserpflanzen und dem Verbrauch durch die biologische Oxidation und Atmung gebildet. Je nach Eintrag und Verbrauch unterliegt der Gehalt räumlich und zeitlich starken Schwankungen. Die Gefahr der sog. Hypoxie im Wasser (wenn der O<sub>2</sub>-Gehalt so weit reduziert ist, dass aquatische Lebewesen beeinträchtigt werden) ist u.a. auf das geringe Lösungsvermögen zurückzuführen. Beispielsweise beträgt der Absorptionskoeffizient bei 20 °C für Sauerstoff nur 1/33. Da der Absorptionskoeffizient temperaturabhängig ist, liegt der gelöste Sauerstoff bei verschiedenen Temperaturen in unterschiedlicher Konzentration vor. Mit steigender Temperatur nehmen Koeffizient und somit auch der gelöste Sauerstoff ab (s. Tabelle 2). Aus diesem Grund steht selbst bei einer 100 %-igen O<sub>2</sub>-Sättigung den Fischen weniger Sauerstoff zur Verfügung als terrestrischen Organismen, insbesondere in den warmen Sommermonaten. Daneben spielt für die Untere Elbe eine weitere Rolle das Zusammenspiel zwischen Phytoplanktonproduktion und Atmung/Zehrung, welches durch die hohe Belastung organischer Stoffeinträge beeinflusst wird.

Tabelle 2: Sauerstofflöslichkeit im Wasser (bei 100 %-iger Sättigung, 760 mm atmosphärischem Druck und 100 % Luftfeuchtigkeit) (entnommen aus TURNPENNY & LINEY 2006):

| Temperatur<br>(°C) | Gelöster Sauerstoffgehalt in     |                                   |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
|                    | Süßwasser [mg O <sub>2</sub> /l] | Meerwasser [mg O <sub>2</sub> /l] |
| 0                  | 14,6                             | 11,3                              |
| 5                  | 12,7                             | 10,0                              |
| 10                 | 11,3                             | 9,0                               |
| 15                 | 10,1                             | 8,1                               |
| 20                 | 9,1                              | 7,4                               |
| 25                 | 8,2                              | 6,7                               |
| 30                 | 7,5                              | 6,1                               |
| 35                 | 6,9                              | 5,7                               |

Die Wassertemperatur selbst wird beeinflusst durch die Sonneneinstrahlung, Lufttemperatur, Wassertiefe, Flussmorphologie und Verweilzeit. Anthropogene Faktoren wie die Zufuhr erwärmter Abwässer oder Wasserentnahmen beeinflussen ebenfalls die Wassertemperatur. Meist führen sie zu einer Erhöhung. Wie auch der Sauerstoff unterliegt die Temperatur räumlichen und zeitlichen Schwankungen.

Als wechselwarme Organismen sind Fische stark von der Temperatur abhängig. Diese wirkt sich auf die zellulären und biochemischen Prozesse aus, beeinflusst Wachstum und Entwicklung, Reproduktionserfolg, die Toleranz gegenüber Xenobiotika sowie deren Metabolismus, die Widerstandsfähigkeit gegenüber Belastungen und Krankheitserregern und die Sterbeanfälligkeit (SCHRECKENBACH 2002, TURNPENNY & LINEY 2006). Alle Fische haben einen präferierten Temperaturbereich, in dem die physiologischen Prozesse optimal ablaufen. Inwieweit sich die einzelnen Arten bzw. Individuen an verändernde Temperaturverhältnisse anpassen können oder ihre physiologische Flexibilität eingeschränkt ist, hängt von der genetischen, anatomischen und physiologischen Konstitution ab. Dabei unterscheidet man zwischen art- und individuenspezifischen Ansprüchen. Forellenartige (Salmonidae) haben nach SCHRECKENBACH (2002) beispielsweise einen engeren Toleranzbereich als Karpfenartige (Cyprinidae). Jede Art hat für die Gonadenentwicklung, das Ablachen, die Ei- und Larvenentwicklung sowie die adulte Lebensphase einen unterschiedlichen Temperaturtoleranzbereich. Die frühen Entwicklungsstadien gelten

allgemein als temperatursensibler, insbesondere in der Embryonal- und Larvalphase (BRETT 1970).

Wassertemperaturen ober- und unterhalb des optimalen Bereichs wie auch extreme Temperaturwechsel können bei Fischen zu Stressreaktionen, Schädigungen oder Tod führen. Eine schnelle Erhöhung der Wassertemperatur wird dabei von den Fischen eher toleriert als eine schnelle Temperatursenkung. Ein plötzlicher Abfall um 10 °C führt zum Beispiel bei warmadaptierten Fischen wie Aal oder Stör zu Kälteschäden mit Haut- und Darmschädigung, Wassersucht und symptomlosen Todesfällen innerhalb der ersten 2 Wochen (ALBRECHT 1974). Bei einer Temperaturerhöhung von 3° auf 20°C innerhalb von 4 Stunden konnte bei Karpfen in den anschließenden 14 Tagen eine Erhöhung des Fettverbrauchs um 50 % gemessen werden (SCHRECKENBACH & SPANGENBERG 1984). Die Kondition der Fische bestimmt daher zu großen Teilen, inwieweit ein solcher Anstieg toleriert werden kann. Sind Energiereserven nicht ausreichend vorhanden, kann dies zum Tod führen. Schneller Temperaturabfall ist in seinen Auswirkungen auf Fische noch problematischer, kommt in natürlichen Gewässern aber nur selten vor.

Obwohl Fische einen hohen Ausnutzungsgrad für Sauerstoff entwickelt haben (60 – 80 %, Menschen im Vergleich dazu nur 34 %) (ITZAWA 1970), ist akuter und chronischer Sauerstoffmangel eine der häufigsten Schädigungsursachen, v.a. bei Salmoniden. Geringe O<sub>2</sub>-Gehalte führen zu einer O<sub>2</sub>-Unterversorgung, weil der Partialdruck des Gases für den Übergang vom Wasser ins Blut an den Kiemen nicht mehr ausreicht. Insbesondere in den warmen Sommermonaten besteht diese Gefahr, da mit zunehmender Temperatur auch der Metabolismus steigt, was zu einem erhöhten Sauerstoffbedarf bzw. Sauerstoffverbrauch führt. Gleichzeitig sinkt der Sauerstoffgehalt aufgrund der geringeren Löslichkeit. Ein akutes O<sub>2</sub>-Defizit führt dann zu einer weiteren gesteigerten Atmungsintensität bis hin zur Notatmung, zu Unruhe, Nahrungsverweigerung, verringerter Massezunahme oder sogar zu Masseverlust, geschwächtem Abwehrmechanismus oder gestörten Organfunktionen (ALBRECHT 1977, SCHRECKENBACH 2002).

Fische sind in der Lage, sich auf der physiologischen oder Verhaltensebene bis zu einer artspezifisch bestimmten Grenze an hypoxische Verhältnisse anzupassen (ALABASTER & LLOYD 1980, CHAPMAN *et al.* 2000). Als Adaptionmechanismus steigt zum Beispiel bei Fischen die Erythrozytenzahl und der Hämoglobingehalt, die Erythrozyten schwellen an und es kommt zu einer pH- und Elektrolytverschiebung im Blut (SCHÄPERCLAUS 1990). SAROGLIA *et al.* (2000) konnten eine Kiemenvergrößerung von 33 % bei juvenilen Wolfsbarschen (*Dicentrarchus labrax*) beobachten, die 3 Monate bei 60 % O<sub>2</sub>-Sättigung im Vergleich zu 90 % O<sub>2</sub>-Sättigung gehalten wurden. Es gibt jedoch keine Studien, die belegen können dass diese Adaptionen sich auch genetisch manifestieren.

### **Toleranzbereich der ausgewählten Fischarten**

Der Toleranzbereich einer Organismenart in Bezug auf einen Umweltparameter wird durch die oberen (Maximum) und unteren (Minimum) kritischen Werte definiert. Außerhalb dieser sog. Letalgrenzen sind die Individuen nicht mehr überlebensfähig, innerhalb dieses Bereichs liegen das sog. Optimum und der Präferenzbereich. Diese Bereiche können sich von Art zu Art aber auch innerhalb einer Art besonders in Bezug auf die einzelnen Entwicklungsstadien stark unterscheiden. Auch unterliegen sie dem Einfluss anderer Umweltfaktoren. Da beispielsweise der Sauerstoffgehalt von der Temperatur abhängig ist, ist eine Anpassung an bestimmte O<sub>2</sub>-Gehalte immer gekoppelt mit Anpassungen an bestimmte Temperaturbereiche. Als Optimum bezeichnet man den Bereich des Umweltparameters, bei dem das Wachstum am besten ist. Der Präferenzbereich beschreibt die Spannweite, den die Fische von sich aus bevorzugt wählen würden. Dieser Bereich kann bei jedem Individuum auch variieren. So werden die Präferenztemperaturen von den Akklimatisationstemperaturen, also den Temperaturen, an die sich die Fische adaptiert haben, bestimmt (Rosenthal & Munro 1985). In Bezug auf die Temperatur wird von einigen Autoren auch statt Präferenztemperatur

der Terminus Vorzugstemperatur oder finales Präferendum verwendet. Für die oberen und unteren Grenzwerte existieren für Sauerstoff- und Temperatur die Begriffe „eingeschränkter oberer/unterer Bereich“, „kritischer oberer/unterer Bereich“, „Letale Konzentration“ (LC), „Kritisches Temperaturmaximum/-minimum“ (CTMax/CTMin), „Anfängliche obere/untere Temperatur, die zum Tod führt“ (IULT/ILLT) und „Letale Sättigung“ (beim Sauerstoff) (s. auch Tabelle 3).

Tabelle 3: Definitionen der Fachbegriffe, entnommen aus KÜTTEL *et al.* (2002).

|   |  |
|---|--|
| Optimumsbereich   | Temperaturbereich, in dem die Individuen einer Fischart fressen und innerhalb welchem keine Anzeichen eines temperaturbedingten, abnormalen Verhaltens auftreten. Der Optimumsbereich entspricht dem Bereich der normalen physiologischen Aktivität (d.h. im Ruhezustand). Entsprechend ist der Optimumsbereich größer als der Bereich für das Wachstum und die Reifung der Eier. Die Vorzugstemperatur bzw. das finale Präferendum liegt normalerweise innerhalb des Optimumsbereichs (ELLIOTT 1981).   |
| Vorzugstemperatur   | Temperaturbereich, in dem sich das Tier in einem Temperaturgradienten aufhält (SCHMEING-ENGBERDING 1953).  |
| Akklimatisierungstemperatur   | Die Temperatur, bei welcher die Fische im Labor vor Versuchsbeginn (z.B. über mehrere Tage) gehalten werden. Laut VARLEY (1967) sind 24 Stunden nötig, bis sich ein Fisch vollständig an eine Temperaturänderung von 1 °C angepasst hat.   |
| Chronisches tödliches Maximum/Minimum (Chronical Lethal Maximum/Minimum, CLMax/CLMin) | Temperaturlimit für das Überleben der Fische. Beim Bestimmen werden Fische an verschiedene Temperaturen akklimatisiert. Danach wird die Temperatur mit einer konstanten Rate erhöht oder abgekühlt. Die Temperaturänderung geschieht dabei so langsam, dass sich die Fische immer wieder an die neue Umgebungstemperatur akklimatisieren können. Die jeweilige Temperatur kann auf diese Weise ihre (negative) Wirkung über längere Zeit auf das Lebewesen entfalten. Der Testendpunkt wird erst beim Tod erreicht (BEITINGER <i>et al.</i> 2000). Diese Methode taucht in der Literatur selten auf.       |
| Kritisches Temperaturmaximum/-minimum (CTMax/CTMin),                                  | Temperaturlimit für das Überleben der Fische. Das Vorgehen ist ähnlich wie beim Bestimmen der CLMax/CLMin. Die Temperatur ändert sich aber schneller. Das CTMax oder CTMin ist erreicht, wenn der Fisch die Fähigkeit verliert aus der tödlichen Temperaturumgebung zu entfliehen. Je nach Erhöhungsrate oder Abkühlungsrate der Temperatur und der Akklimatisierungstemperatur werden unterschiedliche Limiten (CTMax bzw. CTMin) erreicht (Elliott 1981). Die Temperatur ist dabei das arithmetische Mittel von Versuchen mit mehreren Individuen (BEITINGER <i>et al.</i> 2000 nach LOWE & VANCE 1955). |
| Anfängliche obere/untere Temperatur, die zum Tod führt (IULT/ILLT)                    | Temperatur, bei welcher Fische eine vordefinierte Zeit überleben können. Zur Ermittlung des Wertes werden sie an eine bestimmte Temperatur akklimatisiert und dann abrupt in eine konstante, höhere Temperatur gebracht. Anschließend wird beobachtet, ob die Fische eine bestimmte Zeit (z.B. 100 min, 1000 min) bei dieser Temperatur überleben können oder wie lange es dauert bis 50 % der Fische gestorben sind (BEITINGER <i>et al.</i> 2000 nach FRY 1947).   |
| Unterer/oberer kritischer Bereich   | Bereich, in dem eine klare Veränderung des Verhaltens auf Grund der Temperatur beobachtet wird. Die untere Grenze beim oberen kritischen Bereich, respektive die obere Grenze beim unteren kritischen Bereich sind nahe der Vermeidungs-, Umherirr- oder Störtemperatur (avoidance, restless bzw. disturbing temperature) von andern Autoren (ELLIOTT 1981).   |

Da es keine einheitlichen Messverfahren zur meist experimentell durchgeführten Ermittlung der jeweiligen Sauerstoff- bzw. Temperaturwerte gibt, lassen sich diese teilweise schwer untereinander vergleichen und zusammenfassen. So war ein früher oft verwendetes Prinzip die Fischhaltung in geschlossenen Containern und die Bestimmung des gelösten O<sub>2</sub> nach dem Tod. Laut ERICHSEN JONES (1964) ist dieses Experiment aber nicht repräsentativ, da sich mit zunehmendem Sauerstoffverbrauch der CO<sub>2</sub>-Gehalt erhöht, was wiederum die Affinität des Hämoglobins zum Sauerstoff herabsetzt (DOUDOROFF & SHUMWAY 1970) und der zusätzliche Sauerstoffverbrauch beim Tod hinzukommt. Der ermittelte „Erstickungstod-Grenzwert“ wird dementsprechend höher als die natürliche Letalkonzentration liegen. Leider wird zu den in der Literatur aufgeführten Grenzwerten oft keine Methodik angegeben, so dass eine diesbezügliche Auswertung nicht möglich ist. Die sich bei den einzelnen Autoren teilweise erheblich unterscheidenden Werte zu Optimum, Präferenz und vor allem zum oberen und unteren Grenzwert innerhalb einer Art lassen sich unter anderem mit unterschiedlichen Methoden begründen. Des Weiteren fehlen Angaben zum genauen Alter der Fische, Körpergröße bzw. -gewicht, Umgebungstemperatur bei Ermittlung der Sauerstofftoleranz oder die Akklimatisationstemperatur bei Ermittlung der Temperaturtoleranz, welche Einfluss auf die Toleranz haben. Laut BAUR & RAPP (2003) sollten auch Angaben zur Geschwindigkeit der Veränderungen und der Sauerstoffgehalt bei Ermittlung der Temperaturgrenzwerte angegeben werden. Bei einem Experiment hatte sich eine geringere O<sub>2</sub>-Konzentration negativ auf den Letalpunkt ausgewirkt.

Auch die Mortalitätsrate wird oft nicht aufgeführt. Diese ist aber wichtig, da sich der Grenzwert bei einer Mortalitätsrate von 10 % stark von dem einer 50 oder 100 %-igen Mortalitätsrate unterscheiden kann. So lagen die LC-Werte (bei 24h Einwirkzeit) bei Flundern mit 10 % Mortalitätsrate (LC-10) bei 3,8 mg O<sub>2</sub>/l, mit 50 % (LC-50) bei 2,8 mg O<sub>2</sub>/l und mit 90 % (LC-90) bei 1,5 mg O<sub>2</sub>/l (TURNPENNY *et al.* (2004).

Im Folgenden werden die in Tabelle 4 und 5 zusammengestellten Literaturangaben zur Temperatur- und Sauerstofftoleranz besprochen. Eine detaillierte Auflistung befindet sich im Anhang. Die jeweiligen Maximal- und Minimalwerte wurden unter „obere/untere kritische Grenze“ zusammengefasst. Im Falle, dass die Autoren angegeben haben, ob es sich um den IULT, CTMax, etc. handelt, wurde dies mit angegeben. Da bei anthropogen beeinflussten Gewässern eine größere Gefahr in der Temperaturerhöhung und im Sauerstoffmangel besteht, sind die diesbezüglichen Grenzwerte von besonders großer Relevanz und stehen bei der folgenden Bewertung im Vordergrund.

Je nachdem ob sich die Fische an einen weiten oder eher engen Temperaturbereich angepasst haben und letzterer im kalten oder im warmen Bereich liegt, spricht man auch von eurythermen oder von kalt- bzw. warmstenothermen Arten. Während die im Winter laichenden kaltstenothermen Arten leicht von den im Sommer laichenden eurythermen Arten zu unterscheiden sind, ist dies bei den warmstenothermen und eurythermen Fischen schwieriger (THIENEMANN 1925). Laut THIENEMANN lassen sich die Grenzen in den gemäßigten Breiten schwer ziehen und der Begriff „stenothermer Warmwasserfisch“ sollte eher für Arten der warmen Klimazonen verwendet werden. Entsprechend THIENEMANN werden die Warmadaptierten der betrachteten Arten als eurytherm bezeichnet. Zu dieser Gruppe werden Flunder, Dreistachliger Stichling, Fluss- und Meerneunauge, Aal, Rapfen, Stör, Maifisch und Finte gezählt. Auch wenn sich diese Arten an relativ warme Temperaturen anpassen können, wirken sich für alle Arten Temperaturen über 40 - 41°C tödlich aus. Bei diesen Temperaturen denaturieren die Proteinstrukturen und enzymatische Prozesse werden gestört. Aale gehören zu den Arten die sich an hohe Temperaturen mit am besten anpassen können. Die optimalen Temperaturen für das Wachstum liegen bei max. 29 °C und sie können Temperaturen von bis zu max. 30 - 39 °C ertragen (s. Tabelle 4). Auch bei adulten Stören liegt die kritische obere Grenze mit 30 °C recht hoch. Deren Eistadien sind dagegen wesentlich weniger temperaturresistent. Bei über 15 °C sind die Temperaturen bereits im kritischen Bereich.

Tabelle 4: Zusammenfassung der Temperaturpräferenzen und -grenzwerte mit den entsprechenden Literaturquellen, aufgelistet nach Fischart und Altersstadium. Die fett gedruckten Werte sind jeweils besonders relevant für den betrachteten Elbabschnitt.

| Gewässertemperatur [°C]                        |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
|--|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|----------------|------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Altersstadium                                  | Laich-<br>temperatur | unterer kritischer<br>Bereich | unterer<br>eingeschränkter<br>Bereich | Optimum        | Vorzugs-<br>temperatur | oberer<br>eingeschränkter<br>Bereich | oberer<br>kritischer<br>Bereich           | Literaturquelle  |
| <i>Atlantischer Stör (Acipenser sturio)</i>    |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Eier   |                      |                               |                                       | 14 - 16        |                        |                                      | > 15                                      | HOCHLEITNER (1996), REICHLÉ (1997)   |
| Larven   |                      |                               |                                       | 15 - 17        |                        |                                      |   | HOCHLEITNER (1996), REICHLÉ (1997)   |
| Juvenile                                       |                      |                               |                                       | <b>16 - 20</b> |                        |                                      |   | HOCHLEITNER (1996)   |
| Adulte   | 7,7 - 22             | 1                             | < 5                                   | <b>20 - 22</b> |                        | > 25                                 | <b>30</b>                                 | CHALIKOV (1949), DE GROOT (2002), HOCHLEITNER (1996), KIRSCHBAUM & GESSNER (2001), WOLTER <i>et al.</i> (2003)         |
| <i>Europäischer Aal (Anguilla anguilla)</i>    |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Glasaale                                       |                      |                               | <15                                   |                |                        |                                      |   | PENAZ <i>et al.</i> (1988)   |
| Adulte   |                      | 0 - 8                         | 13                                    | <b>8 - 29</b>  |                        |                                      | <b>30 - 39; 38 (IULT), &gt;33 (CTMax)</b> | BARAS <i>et al.</i> (1998), ELLIOT (1981), REINARTZ (2007), SADLER (1979), WOLTER <i>et al.</i> (2003)                 |
| <i>Atlantischer Hering (Clupea harengus)</i>   |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Eier   |                      | 0 - 5                         |                                       | <b>10 - 15</b> | <b>8 - 15</b>          |                                      | <b>20 (IULT)</b>                          | MACFARLAND (1931), ROBERT <i>et al.</i> (1999)   |
| Larven   |                      |                               | 9                                     |                |                        | <b>16</b>                            |   | REID <i>et al.</i> (1999)  |
| Juvenile                                       |                      | -1,1 (ILLT)                   |                                       |                | <b>8 - 16</b>          |                                      | <b>19,5 - 21,2 (IULT)</b>                 | REID <i>et al.</i> (1999)  |
| Adulte   | 7 - 15               |                               |                                       |                |                        |                                      |   | REID <i>et al.</i> (1999)  |
| <i>Finte (Alosa alosa)</i>                     |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Eier   |                      |                               |                                       | <b>15 - 25</b> |                        |                                      |   | VINCENT (1894)   |
| Larven   |                      |                               |                                       |                | <b>17 - 21,5</b>       |                                      |   | GERKENS & THIEL (2001)   |
| Adulte   | <b>11 - 22</b>       |                               |                                       |                |                        |                                      |   | DE GROOT (2002), FROESE & PAULY (2008), HASS (1968), REDECKE (1939), ROULE (1925), SPILLMANN (1961), SVETOVIDOV (1963) |
| <i>Maifisch (Alosa alosa)</i>                  |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Eier   |                      |                               | < 16/18                               |                |                        |                                      |   | QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991)   |
| Adulte   | 15 - 25              |                               |                                       |                |                        |                                      |   | DOTTRENS (1952), DUHAMEL DU MONCEAU (1772), HOESTLANDT (1958), MOHR (1941), ROULE (1922), PHILIPPART & VRANKEN (1982)  |
| <i>Nordseeschnäpel (Coregonus oxyrhynchus)</i> |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Larven   |                      |                               | 2                                     |                |                        | 26                                   |   | FLÜCHTER (1980)  |
| Adulte   |                      | 5, 6 bzw. 7                   |                                       |                |                        |                                      | <b>&gt;23</b>                             | IKONEN (1982), KLEIN-BRETELER (1983), ROSENTHAL & MUNRO (1985), WHEELER (1969)   |
| <i>Rapfen (Aspius aspius)</i>                  |                      |                               |                                       |                |                        |                                      |   |  |
| Eier   |                      |                               |                                       | 14 - 23        |                        |                                      |   | SCHRECKENBACH (2001)   |
| Adulte   | 5 - 17               |                               | 0 - 10                                | <b>18-28</b>   |                        | <b>30 - 35</b>                       | <b>30 - 40</b>                            | ALABASTER & LLOYD, (1980), SCHRECKENBACH (2001), WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |

| Gewässertemperatur [°C]                                  |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
|--|-----------------|----------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
| Altersstadium  | Laichtemperatur | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum                  | Vorzugstemperatur | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich       | Literaturquelle  |
| <b>Quappe (Lota lota)</b>                                |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Eier   |                 |                            |                                 | 0-4                      |                   |                                | 12                              | ALABASTER & LLOYD (1980)   |
| Adulte   | 0,5 - 6         |                            |                                 |                          | 10 - 12           |                                | 20 - 30                         | HOCHLEITNER (2002), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Dreistachliger Stichling (Gasterosteus aculeatus)</b> |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Eier   |                 |                            |                                 | 18 - 20                  |                   |                                | >27 (IULT)                      | ELLIOT (1981), LEINER (1934), PAEPKE (1996)  |
| Juvenile   |                 |                            |                                 |                          | 4 - 8             |                                |                                 | RØED (1979)  |
| Adulte   |                 | 12 - >20                   |                                 | 4 - 22                   | 9 - 12            |                                | 22 - 37                         | ELLIOT (1981), LAM (1983), LACHANCE <i>et al.</i> (1987), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Stint (Osmerus eperlanus)</b>                         |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Adulte   | 4 - 12          |                            |                                 |                          |                   |                                | 30                              | ALABASTER & LLOYD (1980), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Flussneunauge (Lampreta fluviatilis)</b>              |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Larven   |                 |                            |                                 | 15                       |                   |                                |                                 | HARDISTY (1986b)   |
| Adulte   | 7 - 16          |                            |                                 |                          |                   |                                | 30                              | CLARIDGE & POTTER (1975), HARDISTY (1986a), KIRCHHOFER (1995), SJÖBERG (1974), TUNAINEN <i>et al.</i> (1980), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Meerneunauge (Petromyzon marinus)</b>                 |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Eier   |                 |                            | 15                              | 18-19; Eischlupf 12 - 26 |                   | 25                             |                                 | McCAULEY (1963), PIAVIS (1971)   |
| Larven   |                 |                            |                                 | 10 - 19                  |                   |                                | 31,4 (LT50/IULT)                | POTTER & BEAMISH (1975), MACEY & POTTER (1978), REYNOLDS & CASTERLIN (1978)  |
| Adulte   | 15 - 19         |                            |                                 | 15 - 20                  |                   |                                | 30                              | BEAMISH (1980), FARMER (1980), HARDISTY (1986), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Flunder (Platychthys flesus)</b>                      |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Adulte   | 12 - 16         |                            |                                 | 21 - 23                  |                   |                                | 31                              | WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| <b>Atlantischer Lachs (Salmo salar)</b>                  |                 |                            |                                 |                          |                   |                                |                                 |  |
| Eier   |                 | 0 (ILLT)                   |                                 | 4 - 11                   |                   |                                | 12 - 16 (IULT)                  | ELLIOT (1981), GUNNES (1979), POXTON (1991)  |
| Larven   |                 |                            |                                 | 0 -12                    |                   |                                | 23 (IULT)                       | GUNNES (1979), VARLEY (1967)   |
| Juvenile   |                 | 2 (ILLT ); 29 - 33 (CTMax) | 7                               | 14,2 - 16                | 10 (Winter) - 17  | 23                             | 28 (IULT )                      | BEITINGER <i>et al.</i> (2000), BLAIR (1938), BREMSET (2000), ELLIOT (1991), ELLIOTT & HURLEY (1997), GRANDE & ANDERSEN (1991), JAVAIID & ANDERSON (1967), MANTELMANN (1958), MORGAN & METCALFE (2001)   |
| Adulte   | 1 - 8           |                            |                                 | 6 - 20                   | 9 - 18            |                                | 20 - 34; 27 (IULT ), 29 (CLMax) | ALABASTER & LLOYD (1980), BEITINGER <i>et al.</i> (2000), BJORNIN & REISER (1991), BLAIR (1938), EIFAC (1969), ELLIOT (1981), ELLIOT (1991), FISHER & ELSON (1956), JAVAIID & ANDERSON (1967), ROSENTHAL & MUNRO (1985), WOLTER <i>et al.</i> (2003) |

| Gewässertemperatur [°C]                                 |                      |                               |                                       |             |                        |                                      |                                 |   |
|---|----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| Altersstadium   | Laich-<br>temperatur | unterer kritischer<br>Bereich | unterer<br>eingeschränkter<br>Bereich | Optimum     | Vorzugs-<br>temperatur | oberer<br>eingeschränkter<br>Bereich | oberer<br>kritischer<br>Bereich | Literaturquelle   |
| Meerforelle ( <i>Salmo trutta</i> forma <i>trutta</i> ) |                      |                               |                                       |             |                        |                                      |                                 |   |
| Eier  |                      | 0 (ILLT/LC50)                 |                                       |             |                        |                                      | 15,5 (IULT)                     | HUMPESCH (1985)   |
| Juvenile/Smolts   |                      |                               | 3,6                                   | 13,1 - 15,5 | 17,6                   | 19,5                                 |                                 | ELLIOTT & HURLEY (1997), FERGUSON (1958),<br>WINGFIELD (1940)   |
| Adulte  | 2 - 4                |                               |                                       | 7 - 19      |                        |                                      | 23 - 26; 25<br>(IULT)           | CHARLON (1969), ELLIOTT (1976), FROST & BROWN<br>(1967), MILLS 1971), PENTELOW (1939), SWIFT (1961),<br>WOLTER <i>et al.</i> (2003) |

Tabelle 5: Zusammenfassung der Sauerstoffpräferenzen und -grenzwerte mit den entsprechenden Literaturquellen, aufgelistet nach Fischart und Altersstadium. Die fett gedruckten Werte sind jeweils besonders relevant für den betrachteten Elbabschnitt.

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                                    |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
|--|--|---------------------------------|------------|-------------|--------------------------------|---------------------------|--|
| Altersstadium  | unterer kritischer Bereich             | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum    | Präferenz   | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich | Literatur  |
| Atlantischer Stör ( <i>Acipenser sturio</i> )              |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 1,82 - 2,4                             | 6,0                             |            |             |                                |                           | BOHL (1999), DE GROOT (2002), HOCHLEITNER (1996), WOLTER <i>et al.</i> (2003)                  |
| Europäischer Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> )              |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Glasaale   | 2,0                                    |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 0,4 - 2,8                              |                                 | 2,0 - 4,0  | 1,2 - 3,0   |                                |                           | WOLTER <i>et al.</i> (2003), MÖLLER & SCHOLZ (1991), HILL (1969), SCHÄPERCLAUS (1990)          |
| Atlantischer Hering ( <i>Clupea harengus</i> )             |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | <50% Sauerstoffsättigung               |                                 |            |             |                                |                           | NEUENFELDT (2002)  |
| Finte ( <i>Alosa fallax</i> )                              |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Junglarven (7,1-17,2mm)                                    |  |                                 |            | 10,1 - 13,3 |                                |                           | GERKENS & THIEL (2001)   |
| Spätlarven (15,4-29,1mm)                                   |  |                                 |            | 4,8 - 13,3  |                                |                           | GERKENS & THIEL (2001)   |
| Juvenile (0)   |  |                                 |            | 4,0 - 5,0   |                                |                           | MÖLLER & SCHOLZ (1991)   |
| Nordseeschnäpel ( <i>Coregonus oxyrhynchus</i> )           |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Eier (im Augenpunktstadium)                                |  | 8 (bei 5°C = 65% O2-Sättigung)  |            |             |                                |                           | FLÜCHTER (1980)  |
| Rapfen ( <i>Aspius aspius</i> )                            |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 2,0                                    |                                 | 7,0 - 8,0  |             |                                |                           | WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| Quappe ( <i>Lota lota</i> )                                |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 1,4 - 7,0; LC100 < 2,0                 |                                 | 7,0 - 10,0 |             |                                |                           | BLACK <i>et al.</i> (1954), HOCHLEITNER (2002), PRIVOLVNEV (1954), WOLTER <i>et al.</i> (2003) |
| Dreistachliger Stichling ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> ) |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 2,0                                    |                                 | 4,0 - 6,0  |             |                                |                           | WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| Stint ( <i>Osmerus eperlanus</i> )                         |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Juvenile   | LC10-24h 2,6 - 2,9                     |                                 |            | 3,6 - 6,5   |                                |                           | MÖLLER & SCHOLZ (1991), TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)   |
| Adulte   | 1,5; LC10-24h 2,6 - 2,9                |                                 | 7,0 - 8,0  | 3,1 - 7,3   |                                |                           | MÖLLER & SCHOLZ (1991), TURNPENNY <i>et al.</i> (2004), WOLTER <i>et al.</i> (2003)            |
| Flussneunauge ( <i>Lampreta fluviatilis</i> )              |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Adulte   | 0,5 - 1,0; LC100-8h 7,5 %, CLMin: 9,5% |                                 |            |             |                                |                           | CLARIDGE & POTTER (1975), WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
| Flunder ( <i>Platyichthys flesus</i> )                     |  |                                 |            |             |                                |                           |  |
| Juvenile   | LC10-24h 1,9 - 2,5                     |                                 |            | 3,1 - 5,0   |                                |                           | MÖLLER & SCHOLZ (1991), TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)   |
| Adulte   | LC50-24h 1,9 - 3,8                     |                                 | 5,0 - 6,0  |             |                                |                           | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004), WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                    |

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                        |                            |                                 |                 |           |                                |                           |   |
|--|----------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------|---------------------------|---|
| Altersstadium                                  | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum         | Präferenz | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich | Literatur   |
| <i>Atlantischer Lachs (Salmo salar)</i>        |                            |                                 |                 |           |                                |                           |   |
| Eier   |                            | 0,5 - 7,0                       |                 |           |                                |                           | DAVIS (1975)  |
| Juvenile allg.                                 | 1,9                        |                                 |                 |           |                                |                           | PRIVOLVNEV (1954)   |
| Smolts   | 3,3 LC50; LC10-24h 2,4     |                                 |                 |           |                                |                           | ALABASTER <i>et al.</i> (1979), TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
| Adulte   | 3,1 - 5,0                  |                                 | 7,0 - 9,0       |           |                                |                           | ALABASTER & LLOYD (1980), WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
| <i>Meerforelle (Salmo trutta forma trutta)</i> |                            |                                 |                 |           |                                |                           |   |
| Larven   | LC10-24h 1,92              |                                 |                 |           |                                |                           | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
| Juvenile                                       | LC50 1,5 - 2,5             |                                 |                 |           |                                |                           | BURDICK <i>et al.</i> (1954)  |
| Adulte   | 1,13 - 4,0; LC10-24h 3,35  | 5,0 im Sommer                   | 7,0 - >10,0     | ≥ 5,25    |                                |                           | AMLACHER (1986), BAUR (1998), ERICHSEN JONES (1964), MILLS (1971), TURNPENNY <i>et al.</i> (2004) WOLTER <i>et al.</i> (2003) |
| <i>Karpfen-, Stör-, Aal- und Welsartige</i>    |                            |                                 |                 |           |                                |                           |   |
| Adulte   | 3,0                        | 4,0 - 4,9                       | 5,0 - 30,0 mg/l |           | 31,0 - 35,0                    | <40,0                     | SCHRECKENBACH (2002)  |
| <i>Forellenartige</i>                          |                            |                                 |                 |           |                                |                           |   |
| Adulte   | 4,0                        | 6,0 - 6,9                       | 7,0 - 30,0      |           | 31,0 - 35,0                    | <40,0                     | SCHRECKENBACH (2002)  |

Der Lachs, die Meerforelle, die Quappe, der Nordseeschnäpel, der Hering und auch der Stint werden den kaltstenothermen Arten zugeordnet. Ihre Optima liegen meist um 13 – 16 °C. Temperaturen über 20 °C liegen bereits im eingeschränkten oberen Bereich. Temperaturen über 21 °C bzw. 23 °C können für den Hering und Nordseeschnäpel bereits letal wirken. Die Literaturangaben zu den einzelnen Kaltwasserarten stimmen allgemein stark mit den Angaben von BAUR & RAPP (2003) zu den Forellenartigen überein. Sie setzen das Optimum für diese Gruppe bei 16 – 20 °C, die untere eingeschränkte Grenze bei 8 - 11°C und die obere eingeschränkte bei 17 – 20 °C an.

Niedrigere Temperaturen führen ohne anthropogene Beeinflussung generell zu einem höheren Gehalt an gelöstem Sauerstoff, daher sind Kaltwasserarten auch an höhere Sauerstoffgehalte angepasst. Stint, Quappe, Lachs, Meerforelle brauchen mindestens 7 mg O<sub>2</sub>/l für ein optimales Wachstum (s. Tabelle 5). Die Daten decken sich mit den Angaben von SCHRECKENBACH (2002), der die Fischarten in Bezug auf den Sauerstoffgehalt, neben anderen Umweltparametern, in die empfindlichen Forellen- und Barschartigen und in die weniger empfindlichen Karpfen-, Stör-, Aal- und Welsartigen einteilt. Während für erstere das Optimum zwischen 7 und 30 mg O<sub>2</sub>/l und der untere kritische Bereich bei 4 mg O<sub>2</sub>/l liegen, reichen bei der weniger empfindlichen Gruppe bereits ein Sauerstoffgehalt von 3 mg O<sub>2</sub>/l zum Überleben und 5 mg O<sub>2</sub>/l für ein optimales Wachstum. Andere Autoren setzen für die eurythermen Störe und Aale niedrigere Optimal- und Minimalwerte an, während der Rapfen nach WOLTER *et al.* (2002) ähnliche O<sub>2</sub>-Gehalte bevorzugt wie die Forellenartigen. Allerdings kann er O<sub>2</sub>-Defizite bis 2 mg O<sub>2</sub>/l besser tolerieren. Für die eurythermen Arten Dreistachliger Stichling und Flunder sollten die Konzentrationen bei 4 – 6 mg O<sub>2</sub>/l bzw. 5 - 6 mg O<sub>2</sub>/l liegen, um optimale Bedingungen im adulten Lebensstadium zu gewährleisten.

Allgemein lässt sich bei den Sauerstoffbedingungen sagen, dass bei Konzentrationen unter 0,4 mg O<sub>2</sub>/l kein Individuum der betrachteten Arten überleben würde. Laut WOLTER *et al.* (2003) gehört der Aal wie das Flussneunauge zu den Arten mit hoher Toleranzgrenze gegenüber hypoxischen Verhältnissen. Sie setzen die Minimalgrenze des Aals bei Temperaturen von 20 °C bei 0,4 – 0,8 mg O<sub>2</sub>/l, was einer O<sub>2</sub>-Sättigung von 4,4 - 8,8 % entspricht, und das Optimum bei 2,0 – 4,0 mg O<sub>2</sub>/l. Für die meisten anderen Fischarten liegen die Minimalgrenzen allerdings bereits in diesem Bereich. Auch für das Flussneunauge werden Minimalwerte von 0,5 – 1 mg O<sub>2</sub>/l als kritisch betrachtet (WOLTER *et al.* 2003, CLARIDGE & POTTER 1975).

Die Literaturrecherche kann bestätigen, dass Ei- und Larvenstadien wesentlich weniger flexibel in ihrer thermalen Anpassung sind. In Bezug auf den Sauerstoffgehalt lässt sich dies nicht so eindeutig sagen, allerdings liegen hierzu sehr viel weniger Daten vor. Da nicht alle der hier aufgeführten Wanderfischarten im betrachteten Elbeabschnitt ablaichen und auch nicht alle ihre Lebensstadien hier vorkommen, werden im Folgenden nur die relevanten Toleranzbereiche für jede Art separat besprochen:

### Atlantischer Lachs (*Salmo salar*) - Salmonidae

Der Laichaufstieg von Lachsen variiert von Gewässer zu Gewässer (BAUCH 1957). Für die Elbe konnte FRITSCH (1894) vier Züge identifizieren: Während der erste Zug von Lachsen im Frühling (Februar-April) die Elbe aufsteigt, wandern die anderen drei Züge im Mai-Juni, August bzw. im Oktober stromaufwärts, um in der unteren Forellen- oder Äschenregion abzulaichen. Als sog. Smolts wandern hingegen die juvenilen Lachse besonders im April / Mai über die Unterelbe ins Meer ab. Umweltansprüche dieser beiden Altersgruppen sind daher von besonderer Relevanz und aufgrund der über das Jahr verteilten Züge auch für das gesamte Jahr zu berücksichtigen. Zu dieser Art liegen recht viele Angaben vor, die sich teilweise auch stark unterscheiden. Während ELLIOTT (1981) das Optimum zwischen 6 °C und 21 °C für adulte Individuen ansetzt, geben die meisten anderen Autoren mit Werten um 12 – 15 °C einen engeren Toleranzbereich an (EIFAC 1969, ROSENTHAL & MUNRO 1985,

WOLTER *et al.* 2003). Als Kaltwasserspezies bevorzugen adulte Lachse meist Temperaturen um die 14 °C bis 15 °C und nicht über 17 °C bis 18 °C (EIFAC 1969, FISCHER & ELSON 1956, JAVAID & ANDERSON 1967). Auch bei den kritischen Maximaltemperaturen sind die Angaben von ELLIOTT mit 20 – 34 °C sehr vage. BJORNIN & REISER (1991) geben stattdessen einen IULT von 27 °C bis 28 °C, BEITINGER *et al.* (2000) ermittelten einen CLMax von 29 °C. Auch bei juvenilen Lachsen liegen die Grenzwerte in diesem Bereich. Temperaturen von > 23 °C wie auch < 7 °C können für Juvenile bereits einschränkende Wirkung haben (ELLIOTT & HURLEY 1997). Deren Optimum liegt zwischen 14,2 – 16 °C. Im Winter werden Temperaturen von 10 °C bevorzugt (MORGAN & METCALFE 2001), im Sommer bis max. 17 °C (JAVAID & ANDERSON 1967, MANTELMANN 1958).

Wie alle Salmoniden haben auch Lachse hohe Ansprüche an den Sauerstoffgehalt. Von ALABASTER & LLOYD (1981) werden die O<sub>2</sub>-Konzentrationen im optimalen Bereich mit 9 mg O<sub>2</sub>/l und im unteren kritischen Bereich mit 5 mg O<sub>2</sub>/l für Adulte angegeben. Bei WOLTER *et al.* (2003) liegen beide Werte mit 7 – 9 mg O<sub>2</sub>/l (Optimum) und 3,1 -3,7 mg O<sub>2</sub>/l niedriger. Entsprechend PRIVOLVNEV (1954) sind für juvenile Lachse erst Minimalwerte von 1,9 mg O<sub>2</sub>/l im kritischen Bereich. TURNPENNY *et al.* (2004) ermittelte für Smolts einen letalen Grenzwert von 2,4 mg O<sub>2</sub>/l bei 10%-iger Mortalitätsrate (LC10-24) und 2,12 mg O<sub>2</sub>/l bei 50%-iger Mortalitätsrate (LC50-24), wohingegen der LC50-Wert laut ALABASTER *et al.* (1979) bereits bei 3,3 mg O<sub>2</sub>/l liegt.

#### Meerforelle (*Salmo trutta trutta*) - Salmonidae

Als Verwandter des Atlantischen Lachses sind die Umweltansprüche recht ähnlich, wobei die Meerforelle noch anspruchsvoller gegenüber Sauerstoff und Temperatur ist. Die in Tabelle 4 und 5 angegebenen Optimalwerte repräsentieren Angaben, die zu *Salmo trutta* allgemein gemacht worden sind (FROST & BROWN 1967, MILLS 1971, WOLTER *et al.* 2003). Die für die Meerforelle explizit gemachten Optima befinden sich innerhalb dieser Spannweite, sind allerdings wesentlich enger gefasst mit 10 – 13 °C (ELLIOTT 1976, PENTELOW 1939, SWIFT 1961; s. auch in der Anhangstabelle). Bei juvenilen Meerforellen liegt der Optimalwert mit 15,5 °C etwas höher (WINGFIELD 1940). Für die Juvenilstadien von *Salmo trutta* allgemein wirken Temperaturen > 19,5 °C bereits einschränkend. Die kritischen Maximaltemperaturen bei adulten Forellen liegen zwischen 23 – 26 °C (WOLTER *et al.* 2003), der IULT-Wert beträgt laut CHARLON (1969) 25 °C.

#### Finte (*Alosa fallax*) - Clupeidae

Die sonst im kühleren Meerwasser lebende Finte bevorzugt zum Ablachen wärmere Temperaturen. Die beobachteten Laichtemperaturen bewegen sich zwischen 11 °C und 22 °C (de GROOT 2002, FROESE & PAULY 2008, HASS 1968, REDECKE 1939, ROULE 1925, SPILLMAN 1961, SVETOVIDOV 1963; s. auch Anhang). Für Eier bewegt sich das Optimum im Bereich zwischen 15 – 25 °C (VINCENT 1894). Der Präferenzbereich der Larven ist hingegen mit 17 - 21,5 °C etwas enger gefasst (GERKENS & THIEL 2001). Temperatur-Maximalwerte ließen sich in der Literatur bezüglich aller Lebensstadien leider nicht auffinden. Auch Publikationen zu den Sauerstoffbedingungen sind rar. Insgesamt jedoch sind die Larven wesentlich anspruchsvoller gegenüber dem O<sub>2</sub>-Gehalt als die juvenilen Finten. Während letztere Konzentrationen von 4,0 - 5,0 mg O<sub>2</sub>/l präferieren, bevorzugen Spätlarven (15,4 - 29,1 mm Länge) 4,0 - 13,3 mg O<sub>2</sub>/l und Junglarven (7,1 - 17,2 mm Länge) sogar 10,1 - 13,3 mg O<sub>2</sub>/l. Es kann davon ausgegangen werden, dass die O<sub>2</sub>-Ansprüche von adulten Finten ähnlich denen der Juvenilen sind.

### Maifisch (*Alosa alosa*) - Clupeidae

Als Durchwanderungsgebiet spielen die Sauerstoff- und Temperaturbedingung nur für juvenile und adulte Maifische, welche kurz vor ihrer Laichzeit (Mai/Juni) den Ästuarbereich durchschwimmen, eine Rolle. Abgesehen von Angaben zur Laichtemperatur und zu den Eistadien, die für diese Region irrelevant sind, ließen sich keine Grenzwerte in der Literatur finden. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass innerhalb des Ästuars für adulte Individuen die optimalen Temperaturen - entsprechend der optimalen Laichtemperaturen von 15 – 25 °C (DOTTRENS 1952, DUHAMEL DU MONCEAU 1772, HOESTLANDT 1958, MOHR 1941, PHILIPPART & VRANKEN 1982, ROULE 1922) und dem Optimum der nahverwandten Finte - um 15 – 22 °C liegen. Auch die Sauerstoffansprüche dieser Lebensstadien werden sich mit denen der Finte ähneln und um die 4 – 5 mg O<sub>2</sub>/l liegen. Genaueres ließ sich in der Literatur dazu allerdings nicht finden. Weil Maifische aber zum Laichen allgemein bis in die Blei- und Barbenregion aufsteigen bzw. aufgestiegen sind, kann angenommen werden, dass sie hinsichtlich ihrer Ansprüche gegenüber Temperatur und Sauerstoffgehalt empfindlicher sind als Finten.

### Hering (*Clupea harengus harengus*) - Clupeidae

Da der Atlantische Hering nicht nur im Juvenil- und Adultstadium die Ästuar bewohnt, sondern hier auch laicht, spielen Toleranzwerte der sensibleren Ei- und Larvenstadien eine besonders große Rolle. Heringe laichen im Winter zwischen Januar und April bei Temperaturen von 7 – 15 °C (REID *et al.* 1999). In diesem Bereich liegen auch Optimum und Vorzugstemperatur von Ei- und Juvenilstadien (MACFARLAND 1931, REID *et al.* 1999). Für Larven können Temperaturen > 16 °C im Winter/Frühjahr schon einschränkend wirken. Temperaturen von >20 °C wirken sich auf die Eier (die Wintermonate betreffend) und Juvenile (auch die Sommermonate betreffend) tödlich aus (MACFARLAND 1931, REID *et al.* 1999). Für die adulten Heringe, deren Verbreitungsgebiet allgemein Temperaturen von 1 – 18 °C aufweist (FROESE & PAULY 2008), liegen keine maximalen Temperaturen vor.

Bei den Sauerstoffansprüchen findet sich nur die Angabe von NEUENFELDT (2002), dass Sauerstoffsättigungen von < 50 % bereits im unteren kritischen Bereich liegen. Bei 15 °C Wassertemperatur entspräche dies, in Anlehnung an TURNPENNY & LINNEY 2006, 5,05 mg O<sub>2</sub>/l.

### Nordseeschnäpel (*Coregonus oxyrhynchus*) – Coregonidae

Die Temperaturen des Verbreitungsgebietes des Nordseeschnäpel liegen allgemein bei 4 – 20 °C (FROESE & PAULY 2008). Die genaueren Temperatur- und Sauerstofftoleranzen dieser Art sind nicht bekannt. Im Allgemeinen gilt aber für Coregonen, dass im Sommer die Temperaturen längerfristig nicht 23 °C übersteigen sollten (ROSENTHAL & MUNRO 1985). Aufgrund der bevorzugten Laichtemperatur von 5 – 7 °C (IKONEN 1982, KLEIN-BRETELER 1983) kann bei *C. oxyrhynchus* davon ausgegangen werden, dass Temperaturen von 4 – 10 °C beim Aufstieg (Oktober bis März, hauptsächlich Nov./Dez.) optimale Bedingungen darstellen. Laut FLÜCHTER (1980) können allerdings die Larven des nah verwandten Ostseeschnäpels *C. lavaretus* Temperaturen zwischen 2 – 26 °C tolerieren. Die Eistadien dieser Art brauchen mit > 8 mg O<sub>2</sub>/l (untere eingeschränkte Grenze) ein recht hohes Sauerstoffangebot (FLÜCHTER 1980). Man kann sicherlich annehmen, dass die in der Tide- und Mittleren Elbe theoretisch zu erwartenden juvenilen und adulten Nordseeschnäpel wie alle anderen Forellenartigen einen ähnlichen Sauerstoffanspruch haben.

### Stint (*Osmerus eperlanus*) – Osmeridae

Der im Elbe-Ästuar besonders häufig vorkommende (Wander-)Stint stellt in Bezug auf den Sauerstoffgehalt höhere Anforderungen als beispielsweise die Flunder oder der Aal (MÖLLER & SCHOLZ 1991). Laut WOLTER *et al.* (2003) liegt das Optimum für adulte Stinte bei 7 – 8 mg O<sub>2</sub>/l. MÖLLER & SCHOLZ (1991) erzielten die größten Fänge von juvenilen Stinten zwischen 6,0 - 6,5 mg O<sub>2</sub>/l und von adulten Stinten zwischen 6,0 - 7,3 mg O<sub>2</sub>/l. TURNPENNY *et al.* (2004) stellten fest, dass Juvenile Konzentrationen von < 3,6 mg O<sub>2</sub>/l und Adulte von < 3,1 mg O<sub>2</sub>/l vermeiden. In Labor- und Freilanduntersuchungen ermittelten die Autoren letale Grenzwerte von 2,9 mg O<sub>2</sub>/l bzw. 2,6 mg O<sub>2</sub>/l bei einer 10 %-igen Mortalitätsrate (unter 24h Einwirkdauer; sog. LC10-24). Bei einer Mortalitätsrate von 90 % (und gleicher Einwirkzeit von 24h) lag der Grenzwert bei 1,3 mg O<sub>2</sub>/l bzw. 0,7 mg O<sub>2</sub>/l (LC90-24). Der LC50-25 betrug 16,5 mg O<sub>2</sub>/l bzw. 1,5 mg O<sub>2</sub>/l. Der von WOLTER *et al.* (2003) angegebene Minimalwert von 1,5mg/l (ohne weitere Angaben) wird sich vermutlich auf eine Mortalitätsrate von 50 % beziehen und passt zu den Ergebnissen von TURNPENNY *et al.* (2004).

Zum Temperaturoptimum lagen beim Stint keine Daten vor. Unter Berücksichtigung der im Verbreitungsgebiet vorherrschenden Temperaturen von 5 – 20 °C (FROESE & PAULY 2008), ihrem starken Auftreten in der Kaulbarsch-Flunder-Region und den gegebenen Temperaturen und der Laichtemperatur von 4 – 12 °C ist anzunehmen, dass ihr Optimalbereich bei 4 – 20 °C liegen wird. Obwohl THIENEMANN den Stint als kaltstenotherm einstuft, kann diese Art mit maximalen Grenzwerten von 30 °C (WOLTER *et al.* 2003) relativ hohe Temperaturen tolerieren.

### Dreistachliger Stichling (*Gasterosteus aculeatus*) - Gasterostidae

Für die im Elbe-Ästuar nur durchziehende Wanderform des Dreistachligen Stichlings werden zu Temperaturoptimum und Maximum unterschiedliche Angaben gemacht. WOLTER *et al.* (2003) geben ein Temperaturoptimum für Adulte von 15 – 22 °C an, während laut Elliott die Temperaturen bereits zwischen 4 – 20 °C optimal für das Wachstum sind. Die von LACHANCE *et al.* (1987) angegebenen Vorzugstemperaturen liegen mit 9 - 12°C auch in diesem Bereich. Die juvenile Altersgruppe hingegen präferiert Temperaturen von 4 – 8 °C und meidet Temperaturen > 11 °C (RØED 1979). Das Sauerstoffoptimum liegt für *G. aculeatus* ähnlich wie bei der Flunder bei 4 – 6 mg O<sub>2</sub>/l, der untere kritische Bereich liegt bei 2 mg O<sub>2</sub>/l (WOLTER *et al.* 2003).

### Flussneunauge (*Lampetra fluviatilis*) und Meerneunauge (*Petromyzon marinus*) - Petromyzontidae

Neben der Aussage von BEAMISH (1973), dass Fluss- und Meerneunaugen ähnliche Sauerstoffansprüche wie Salmoniden haben, ließen sich bislang keine weiteren Sauerstofftoleranzen für Meerneunaugen in der Literatur finden. Bei den Flussneunaugen gibt es nur Angaben zu den Mindestsauerstoffansprüchen. Bei dieser Art liegt die minimale Grenze bei 0,5 – 1 mg O<sub>2</sub>/l (WOLTER *et al.* 2003), bei CLARIDGE & POTTER (1975) trat der Tod nach 5 - 8 Stunden bei einer Sauerstoff-Sättigung von 7,5 % ein. Das würde bei einer Wassertemperatur von 15°C 0,76 mg O<sub>2</sub>/l entsprechen. Eine Sättigung von 9,5 % (entspricht 0,96 mg O<sub>2</sub>/l bei 15 °C) konnte über 96 Stunden ausgehalten werden, führte aber zu Verhaltensänderungen. Unter welchen Temperaturbedingungen ihre Ergebnisse zustande kamen ist nicht bekannt.

Während die Flussneunaugen oberhalb der Tideelbe ablaichen und die Juvenilen erst einige Jahre nach dem Eischlupf durch das Ästuar zurück ins Meer wandern, laichen die Meerneunaugen in der Ilmenau, in der Luhe und mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bereits unterhalb des Wehres Geesthacht ab. Daher stellt beim Meerneunauge die

Gewässertemperatur der oberen Tideelbe in Bezug auf die Präferenz der Laichtemperatur wie auch die Temperaturoptima der Ei- und Larvenstadien eine große Rolle dar. Erst einige Jahre nach dem Eischlupf wandern die Juvenilen durch das Ästuar zurück ins Meer. Das Temperaturoptimum der Meerneunaugen ist ähnlich wie das des Dreistachligen Stichlings und liegt bei 15 °C für kleinere und bei 20 °C für größere Individuen (FARMER 1980). Zu den Optimaltemperaturen des Flussneunauges fanden sich keine Daten, da aber beide Arten ähnliche Lebensräume bewohnen, werden sich diese nicht sehr voneinander unterscheiden. Zumindest weisen beide mit 30 °C die gleiche Letalgrenze bei erhöhten Temperaturen auf (WOLTER *et al.* 2003).

#### Atlantischer Stör (*Acipenser sturio*) - Acipenseridae

Im Abschnitt der Unteren Elbe werden nach den geplanten Besatzmaßnahmen des IGB zunächst hauptsächlich abwandernde Juvenile sowie später (nach ca. 10-15 Jahren) im Frühjahr/Sommer dann auch stromaufwärts ziehende Laichtiere vorkommen. Daher spielen insbesondere deren Toleranzgrenzen und Präferenzen eine Rolle. Im allgemeinen Verbreitungsgebiet des Atlantischen Störs liegen die Wassertemperaturen meist bei 10 – 18 °C (FROESE & PAULY 2008). Für adulte Störe gelten allgemein Temperaturen von < 5 °C und > 25 °C als einschränkend und bei < 1 °C und > 30 °C wird es kritisch (HOCHLEITNER 1996). Temperaturen von 20 – 22 °C bieten dabei laut Autor optimale Bedingungen für die Adulten, 16 – 20 °C sind besonders förderlich für das Wachstum der Juvenilen Störe. Bezüglich der letalen Temperaturen liegen keine expliziten Daten für *A. sturio* vor. Für adulte Störe gilt allgemein, dass Sauerstoffgehalte < 6 mg O<sub>2</sub>/l bereits einschränkend wirken (BOHL 1999, de GROOT 2002). In der Aquakultur ist bekannt, dass Störe um ca. 20 % schlechter wachsen, wenn die Wassertemperatur bei 21 °C liegt und die O<sub>2</sub>-Sättigung 60 % statt 100 % beträgt. Wird diese auf 48 % herabgesetzt (das entspricht in etwa 5,5 mg O<sub>2</sub>/l), so wird das Wachstum um 40 % gemindert (HOCHLEITNER 1996). Nach Hochleitner liegt die Letalgrenze für Störe allgemein bei 1,8 mg O<sub>2</sub>/l (bei 20°C; das entspricht einer Sättigung von 20 %). Für *A. sturio* wurde eine etwas höhere Grenze von 2,0 – 2,4 mg O<sub>2</sub>/l festgestellt (WOLTER *et al.* 2003).

#### Europäischer Aal (*Anquilla anquilla*) – Anguillidae

Als Vertreter der Kaulbarsch-Flunder-Region kommen in der Tideelbe adulte Exemplare wie auch aufwärts ziehende Glas- bzw. Jungaale vor. Für letztere sollte der Sauerstoffgehalt über 2 mg O<sub>2</sub>/l liegen (GRITZKE 1980) und die Temperaturen laut PENAZ *et al.* (1988) über 15 °C liegen, um das Wachstum zu fördern. Adulte werde bei Temperaturen unter 13 °C zunehmend inaktiv (PARAS *et al.* 1998). Sadler (1979) gibt an, dass bei Temperaturen zwischen 1 – 3 °C Aale erstarren, jedoch noch nicht sterben. Steigen die Temperaturen auf über 30 °C besteht die gleiche Gefahr. Laut SADLER (1979) liegt der CTMax bei 33 °C und der IULT bei 38 °C. Innerhalb dieser Grenzwerte soll nach ELLIOT (1981) der Optimalbereich liegen. Diese Spannbreite ist sicherlich zu breit angesetzt und der wirklich wachstumsfördernde Temperaturbereich ist eher bei 18 – 25 °C anzusetzen, wie WOLTER *et al.* (2003) und SADLER (1979) angeben.

Die Sauerstoffansprüche sind nicht eindeutig der Literatur zu entnehmen. WOLTER *et al.* (2003) stufen bei 20 °C die untere kritische Grenze für adulte Aale mit 0,4 – 0,8 mg O<sub>2</sub>/l ein und das Optimum bei 2 – 4 mg O<sub>2</sub>/l. MÖLLER & SCHOLZ (1991) erzielten die größten Aalfänge bei Sauerstoffgehalten von 1,2 – 3 mg O<sub>2</sub>/l. Die höhere Fangquote im niedrigen Sauerstoffbereich könnte allerdings auch darin begründet sein, dass sich die Aale wegen der schlechten O<sub>2</sub>-Bedingungen in andere Bereiche zurückziehen wollten und dabei vermehrt in die Fanganlagen geraten sind. Denn nach SCHÄPERCLAUS (1990) liegt der untere kritische Bereich für Aale bei Wassertemperaturen zwischen 16 – 27 °C bereits bei 2,9 mg O<sub>2</sub>/l, was

einem Sättigungsgehalt von 29 – 35 % entspricht. Realistischer ist sicherlich ein Mindestsauerstoffgehalt von 4 mg O<sub>2</sub>/l wie ihn auch COLAS (1988) ansetzt.

#### Rapfen (*Aspius aspius*) - Cyprinidae

Im unteren Elbe-Abschnitt kommen vorwiegend adulte Individuen des potamodromen Rapfens vor. Als ausgeprägter Kieslaicher dürften sich seine Haupt-Laichgebiete eher außerhalb des Tidebereichs und somit oberhalb von Geesthacht befinden. Daher spielen Laichtemperaturen und Präferenzen der Ei- und Larvenstadien hier keine weitere Rolle. Bei Karpfenfischen, zu denen auch der Rapfen zählt, sind für adulte Individuen laut SCHRECKENBACH (2002) Temperaturen < 10 °C und zwischen 30 – 35 °C als einschränkend und zwischen 32 – 40 °C als kritisch anzusehen. Das Optimum liegt seiner Meinung nach bei 18 – 28 °C. Da die Temperaturen seines natürlichen Verbreitungsgebietes aber bei 4 – 20 °C liegen (FROESE & PAULY 2008), werden die Optimaltemperaturen für den Rapfen sicherlich nicht bei max. 28 °C sondern eher um 22 °C liegen. Für *A. aspius* legen WOLTER *et al.* (2003) den kritischen Maximalwert bei 30 °C fest. Laut dieser Autoren liegt das Optimum bezüglich der O<sub>2</sub>-Konzentration ähnlich wie bei den Salmoniden bei 7 – 8 mg O<sub>2</sub>/l, die kritische Minimalgrenze liegt bei 2,0 mg O<sub>2</sub>/l.

#### Quappe (*Lota lota*) - Gadidae

Die kaltstenotherme Quappe bevorzugt Temperaturen von 10 – 12 °C und laicht bei Temperaturen von 0,5 – 6 °C im Winter weiter stromaufwärts ab (HOCHLEITNER 1996, WOLTER *et al.* 2003). Die Spanne der kritischen Maximaltemperaturen reicht von 20 – 30 °C, wobei HOCHLEITNER (1996) 20 – 23 °C bereits als kritisch ansieht, WOLTER *et al.* (2003) setzen hingegen bei 28 - 30 °C die kritische Grenze. Als kaltwasseradaptierte Fischart werden sich allerdings die kritischen Maximaltemperaturen im ähnlichen Bereich bewegen wie bei den Salmoniden, die, wie bereits erwähnt, bei 20 °C liegen. Der von HOCHLEITNER (1996) angegebene Grenzwert kann daher als realistischer angesehen werden.

Quappen stellen auch hinsichtlich der Sauerstoffbedingungen hohe Anforderungen. Die zum optimalen Wachstum nötigen O<sub>2</sub>-Konzentrationen liegen bei > 7 mg O<sub>2</sub>/l (HOLČÍK *et al.* 1989, WOLTER *et al.* 2003). Bei den Mindestsauerstoffgehalten reichen die Werte von 1,4 - 7,0 mg O<sub>2</sub>/l. Während sich bei HOCHLEITNER eine kritische Grenze von 5,0 - 7,0 mg O<sub>2</sub>/l finden lässt, betragen die Minimalwerte bei den Autoren WOLTER *et al.* (2003) und PRIVOLVNEV (1954) 1,4 - 2,0 mg O<sub>2</sub>/l bzw. 1,4 - 3,2 mg O<sub>2</sub>/l. Der LC-100 liegt laut BLACK *et al.* (1954) bei < 2,0 mg O<sub>2</sub>/l. Nur bei BLACK *et al.* findet sich eine Aussage zur Mortalitätsrate. Es kann daher gut sein, dass sich die Grenzwerte von HOCHLEITNER an den ersten beobachteten Todesfällen orientieren, sprich diese LC-10 oder LC-1 Werte darstellen, und/oder dass die Wassertemperaturen höher waren.

#### Flunder (*Platichthys flesus*) - Pleuronectidae

Die Flunder, von der alle Altersstadien im Elbe-Ästuar vorkommen, gehört mit zu den Arten, die insgesamt an höhere Temperaturen angepasst sind. Bei Temperaturen von 21 – 23 °C ist das Wachstum der Adulten am stärksten und es werden Temperaturen bis zu max. 31 °C toleriert (WOLTER *et al.* 2003). Angaben bezüglich der Temperaturansprüche der Juvenil- und Larvenstadien konnten nicht gefunden werden.

Auch hinsichtlich des Sauerstoffgehalts stellt die Flunder geringere Ansprüche, insbesondere die Juvenilstadien. So bevorzugen Juvenile Konzentrationen von 3,1 – 5 mg O<sub>2</sub>/l (MÖLLER & SCHOLZ 1991), während bei Adulten das Optimum bei 5 – 6 mg O<sub>2</sub>/l liegt (WOLTER *et al.*

2003). TURNPENNY *et al.* (2004) ermittelten für juvenile Flundern LC10-24 Werte von 1,9 - 2,5 mg O<sub>2</sub>/l und bei adulten Individuen lagen diese bei 1,9 - 3,8 mg O<sub>2</sub>/l.

### **Empfehlung von Richtwerten für maximale Wassertemperaturen und minimale Sauerstoffgehalte im betrachteten Elbe-Abschnitt**

Bei einer Einschätzung von für die Fische zumutbaren Temperaturerhöhungen bzw. Sauerstoffabsenkungen (Sauerstoffübersättigungen stellen seltener eine Gefahr dar) spielen die natürlicherweise herrschenden Wassertemperaturen ebenso wie die Ansprüche der existierenden oder potentiell vorkommenden Fischarten eine große Rolle. So können langsame Temperaturerhöhungen besser toleriert werden als ein sehr rascher Anstieg. Eine Festlegung von festen Richtwerten, die für alle Gewässer ihre Gültigkeit haben sollen, ist aufgrund der art- spezifischen Präferenzen fischbiologisch problematisch.

Ein Vergleich internationaler Standards von TURNPENNY & LINEY (2006) zeigt, dass mehrere EU-Länder wie Dänemark, Deutschland, Niederlande, Österreich, Belgien oder Finnland die EU- Richtlinie des Rates „über die Qualität von Süßwasser (2006/44/EG), das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten“ ohne weitere Anpassung übernommen haben. Anlehnend an die Richtlinie wird in deren nationalen Direktiven weiterhin zwischen Kaltwasser- (Salmonidenregion) und Warmwasser-Habitaten (Cyprinidenregion) unterschieden (s. auch Tabelle 6). Die Maximaltemperaturen für die Region der warmwasseradaptierten Arten liegen meist bei 28 °C (mit Ausnahme der Schweiz), die maximal erlaubten Temperaturerhöhungen des Gewässers betragen 3 °C, in Deutschland 5 °C. Für die Region der kaltwasseradaptierten Fische werden in Deutschland und der Schweiz Maximaltemperaturen von 25 °C, in den Niederlande, Dänemark oder Belgien von 21,5 °C angegeben. In dieser Region liegen die maximal zulässigen Temperaturerhöhungen bei 1,5 °C, in Deutschland bei 3 °C. Bezüglich der deutschen Richtlinien beziehen sich die Autoren TURNPENNY & LINEY (2006) allerdings auf die „Allgemeinen Güteanforderung für Fließgewässer - AGA“, die von den einzelnen Bundesländern als Entscheidungshilfe verwendet werden soll. Die Fisch- und Muschelgewässerverordnung der einzelnen Bundesländer wie z.B. Niedersachsen und Schleswig Holstein haben dagegen die Grenzwertangaben der Europäischen Richtlinie übernommen und weisen für Salmonidengewässer 21,5 °C maximale Wassertemperatur und 1,5 °C Aufwärmspanne und für Cyprinidengewässer 28 °C maximale Wassertemperatur und 3°C Aufwärmspanne aus. Eine an das Ökosystem angepasste Bestimmung gibt es somit auch nicht auf Bundeslandebene. Im Vergleich dazu gehen die USA und Kanada in ihren Bestimmungen stärker auf die jeweils vorkommenden Fischarten und deren Lebensstadien ein.

In den von TURNPENNY & LINEY (2006) in diesem Zusammenhang durchgeführten Interviews zur Wirksamkeit der jeweiligen Richtlinien bestätigen Wissenschaftler, dass Faktoren wie das lokale Klima, die natürlichen Wassertemperaturen oder die jeweiligen hydrologischen Bedingungen, wie auch zeitliche Schwankungen und das jahreszeitenbedingte Auftreten besonders sensibler Fischarten berücksichtigt werden sollten. Auch die Einwirkdauer extremer Sauerstoff- und Temperaturwerte sollte mit einbezogen werden.

Tabelle 6: Vergleich Internationaler Richtlinien zu Gewässertemperaturen (entnommen aus TURNPENNY &amp; LINEY 2006).

| Country      | Spawning temperatures   | Cold water species   |   | Warm water species        |   |
|--------------|---|--|---|---------------------------|---|
|              |   | Maximum water temperature  | Maximum permitted change in temperature | Maximum water temperature | Maximum permitted change in temperature |
| USA          | 9 °C for bull trout spawning<br>13 °C for salmonid spawning<br>14 °C for steelhead smoltification   | 12 °C for bull trout rearing (upper river basin)<br>16 °C for juvenile salmonid rearing (mid to upper river basin)<br>18 °C for salmonid migration (middle to lower reaches)<br>20 °C for salmonid migration | -                                       | -                         | -                                       |
| Canada       | No absolute values are given in the national guidelines. The guidelines describe methods for calculating appropriate values for standards based on sensitive species and life stages present. |  |   |                           |   |
| South Africa | -   | -  | -                                       | -                         | -                                       |
| New Zealand  | 3 °C change from natural background temperature   | 25 °C  | 3 °C                                    | 25 °C                     | 3 °C                                    |
| Netherlands  | -   | 21.5 °C  | 1.5 °C                                  | 28 °C                     | 3 °C                                    |
| Germany      | -   | 25 °C  | 3 °C                                    | 28 °C                     | 5 °C                                    |
| Denmark      | 10 °C   | 21.5 °C  | 1.5 °C                                  | 28 °C                     | 3 °C                                    |
| Austria      | 10 °C   | 21.5 °C  | 1.5 °C                                  | 28 °C                     | 3 °C                                    |
| Belgium      | 10 °C   | 21.5 °C  | 1.5 °C                                  | 28 °C                     | 3 °C                                    |
| Switzerland  | -   | 25 °C  | 1.5 °C                                  | 25 °C                     | 3 °C                                    |
| Finland      | 10 °C   | 21.5 °C  | 1.5 °C                                  | 28 °C                     | 3 °C                                    |
| Sweden       | -   | -  | -                                       | -                         | -                                       |

Da Ästuare wie die Tideelbe meist als Cyprinidenregion eingestuft werden, gilt entsprechend der Richtlinie 2006/44/EG ein oberer Grenzwert von 28 °C. Diese Maximaltemperatur wäre allerdings für viele der hier vorkommenden oder zu erwartenden Fischarten zu hoch angesetzt. Adulte Störe, Aale, Rapfen, Dreistachelige Stichlinge, Neunaugen und Fludern können Temperaturen von bis zu 30 °C gerade noch ertragen. Quappen sowie Heringe, Lachse, Meerforellen, Nordseeschnäpel, Maifische und insbesondere die Ei- und Larvenstadien der hier laichenden Finte können diese Temperaturen jedoch nicht mehr tolerieren. Dagegen wären in den wärmeren Sommermonaten herrschende Maximaltemperaturen von 25 °C für die meisten dieser Arten weniger kritisch bzw. letal wirkend.

Das angesetzte Temperaturmaximum von 28 °C empfiehlt sich daher nicht für Flussabschnitte, wo neben Warmwasser-adaptierten Fischarten auch Kaltwasser-Arten wie Lachse oder Meerforellen vorkommen. Der untere Elbe-Abschnitt als Übergangsbereich zwischen dem kühleren Meerwasser und der wärmer-temperierten Cyprinidenregion dient vielen dieser Wanderfischarten als Durchzugs- und vor allem Akklimatisierungsgebiet. Beispielsweise verbringen jugendliche Störe (Temperaturoptimum liegt bei 16-20 °C) auf ihrer Wanderung ins Meer 6-24 Monate im Ästuarbereich.

Dem tragen TURNPENNY & LINEY (2007) Rechnung und empfehlen die Einstufung der Ästuare, auch als „transitional waters“ bezeichnet, als Kaltwasser-Region (s. Tabelle 7), für

die sie zur Erreichung eines guten ökologischen Zustandes in Großbritannien maximale Temperaturen von 23 °C vorschlagen (s. Tabelle 8).

Tabelle 7: Zuordnung der einzelnen Gewässerkörper in Kaltwasser- und Warmwassertypen nach TURNPENNY & LINEY 2006.

| Typologie  | Gewässerkörper                                      |
|------------|---|
| Kaltwasser | R1, R2, R3, R4, R8, L1, L2, <b>TW1-6</b> , CW1-12 * |
| Warmwasser | R5, R6, R7, L3 *                                    |

\* R1-8: Fließgewässer; L1-3: Seen; TW1-5: Ästuare und Meeresarme; TW6: Brackwasser Lagunen; CW1-12: Küstengewässer

Tabelle 8: Von TURNPENNY & LINEY (2006) vorgeschlagene Temperaturgrenzwerte für den jeweiligen Gewässertyp und den jeweiligen ökologischen Status der Fischgemeinschaft (Einteilung entsprechend der WRRL).

| Typologie  | Maximaler Grenzwert des jeweiligen ökologischen Status |              |       |            |
|------------|--|--------------|-------|------------|
|            | Hoch   | Gut          | Mäßig | Mangelhaft |
| Kaltwasser | 20 °C  | <b>23 °C</b> | 28 °C | 30 °C      |
| Warmwasser | 25 °C  | 28 °C        | 30 °C | 32 °C      |

Für den Abschnitt zwischen Geesthacht und Cuxhaven wären demnach 23°C als oberer Richtwert anzusetzen. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Fischarten mit ihren art-spezifischen Temperaturgrenzen und in Abwägung zwischen der Richtlinie 2006/44/EG und TURNPENNY & LINEY (2007) wird für die Tideelbe von uns ein oberer Richtwert von 25°C empfohlen. Die maximale Temperaturerhöhung unterhalb einer Abwärmeeinleitungsstelle von 3 °C gegenüber der nicht beeinträchtigten Gewässertemperatur, wie sie in der RL 2006/44/EG festgesetzt ist, kann als akzeptabel bewertet werden, sofern die 25 °C nicht überschritten werden. Der empfohlene Richtwert von 25°C bezieht sich allerdings nur auf die Sommerzeit. In den Wintermonaten sollten die Temperaturen hier maximal im Bereich von 10 °C liegen, da Heringe beispielsweise zum Laichen zwischen Januar und April Temperaturen von 7 – 15 °C brauchen und Quappen mit ihrer Aufwärtswanderung erst anfangen, wenn die Wassertemperatur auf 10-12 °C abfällt (HOCHLEITNER 1996).

Viele Fische brauchen auch für eine optimale Gonadenentwicklung zeitweise sehr kalte Temperaturen (< 10 °C). So konnte in einem Laborexperiment festgestellt werden, dass selbst bei Warmwasser angepassten Zandern temporäre Haltungstemperaturen von < 10 °C nicht nur die Reifezeit und Zeitspanne des Ablachens verkürzten, sondern auch die Ovulation entwicklungsfähiger Eier an sich herbeiführte (MÜLLER-BELECKE 2008). So brauchen auch Meerforellen, die meist zwischen Oktober und März laichen und in dieser Zeit das Ästuar durchwandern, für ein optimales Wachstum kalte Temperaturen um 10 – 13 °C.

Entsprechend der Einstufung der Tideelbe als Übergangsregion und unter Berücksichtigung der Temperaturansprüche der besonders sensiblen Langdistanzwanderarten sowie der Zielsetzung der Wasserrahmenrichtlinien (WRRL 2000/60/EG), die gegenwärtige Fischgemeinschaft wieder annähernd in ihren potentiell natürlichen Zustand zu überführen, werden daher die in Tabelle 9 dargestellten Temperaturmaxima für die Tideelbe empfohlen.

Tabelle 9: Empfohlene Temperaturmaxima und Aufwärmspannen in der Sommer- und Winterzeit für die Tideelbe

|  | Maximale Temperaturrichtwerte und -erhöhungen |        |
|--|---|--------|
|  | Sommer  | Winter |
| Oberer Richtwert [°C]                          | 25  | 10     |
| Zulässige Erhöhung [°C] an Einleitungsstellen* | 3   | 3      |

\*bei Einhaltung des oberen Richtwerts

Aufgrund des Einflusses der Temperatur auf den Sauerstoffverbrauch und die Konzentration des gelösten Sauerstoffs, können Richtwerte für Temperaturmaxima nicht ohne Berücksichtigung des Sauerstoffgehalts betrachtet werden. Beispielsweise sinkt der Sauerstoffgehalt bei einer Sättigung von 100 % (und 760 mm atm. Druck) um 1 mg/l wenn die Temperaturen von 15 °C auf 20 °C steigen. Ist der Sauerstoffgehalt bereits sehr niedrig, können sich Erhöhungen der Temperaturen gravierend auf die Fische auswirken. Die von TURNPENNY *et al.* (2006) vorgeschlagene Reduzierung des Temperaturmaximums um 4 °C mit jedem Konzentrationsabfall des Sauerstoffs um 1 mg/l bei Konzentrationen unter 5 mg O<sub>2</sub>/l kann daher auch für den unteren Elbe-Abschnitt empfohlen werden

Ähnlich wie bei der Temperatur werden für Sauerstoff oft einheitliche Werte festgesetzt. Entsprechend der Richtlinie 2006/44/EG soll der Sauerstoffgehalt in Salmonidengewässern bei 9 mg O<sub>2</sub>/l und in Cyprinidengewässern bei 7 mg O<sub>2</sub>/l liegen. Befindet sich der Sauerstoffgehalt allgemein unter 6 bzw. 4 mg O<sub>2</sub>/l müssen entsprechende Maßnahmen zur Verbesserung der Sauerstoffsituation unternommen werden. Auf jahreszeitliche Schwankungen oder Sauerstoffansprüche der jeweils vorkommenden Arten wird nicht eingegangen, auch nicht auf die Dauer eines O<sub>2</sub>-Defizites

Der Optimalbereich der meisten der dauerhaft in der Tideelbe lebenden Fischarten liegt um die 4 – 6 mg O<sub>2</sub>/l. Dieser Sauerstoffgehalt könnte auch die O<sub>2</sub>-anspruchsvolleren Arten wie Lachs, Forelle, Rapfen oder Quappe tolerieren. Auch wenn diese für sie keine optimalen Bedingungen darstellen. Es wäre daher erstrebenswert, Sauerstoffbedingungen für die untere Elbe zu schaffen, die mindestens diesen Ansprüchen gerecht werden. Während für die kaltstenothermen Arten, aber auch für Neunaugen meist 7 - 9mg O<sub>2</sub>/l als optimal gelten, präferieren juvenile Flundern und Finten niedrigere Sauerstoffgehalte. Die Larven der Finte, insbesondere die Junglarven bevorzugen wiederum noch höhere Konzentrationen (> 10 mg O<sub>2</sub>/l).

Gegenwärtig werden solche Sauerstoffbedingungen im Elbe-Abschnitt bei Hamburg in den Sommermonaten zeitweise nicht erfüllt. Laut MÖLLER & SCHOLZ (1991) können die Konzentrationen hier bis auf 0,1 mg O<sub>2</sub>/l (im August) abfallen. Dies kann mit ein Grund sein, warum Quappen gar nicht bzw. nur in sehr geringer Anzahl vorkommen und Lachse und Meerforellen zeitweise nicht weiter stromauf ziehen. Während thermale Unterschiede keine absolute Barriere für Fische darstellen (LANGFORD 1990, TURNPENNY *et al.* 2006), sollen größere Sauerstoffunterschiede das Wanderverhalten schon beeinflussen. Unveröffentlichte Berichte und Fangmeldungen von Anglern aus Nebenflüssen der Unterelbe deuten darauf hin, dass die Großsalmoniden in der Phase des sommerlichen Sauerstoffmangels in der Elbe in diese Nebenflüsse ausweichen und dann nur noch eingeschränkt ihre eigentlichen Heimatgewässer aufsuchen. Darüber hinaus sollen sie in dieser Zeit auch einer höheren Fanghäufigkeit durch die Berufsfischerei unterliegen bzw. bereits gezielt verfolgt werden.

Laut DOUDOROFF & SHUMWAY (1970) sollten sich empfohlene Minimalwerte an den jahreszeitlichen natürlichen Sauerstoffbedingungen orientieren. Sie schlagen ein Modell vor, bei dem je nach Schutzstatus des Gewässers die tolerierbaren Sauerstoffgehalte unterschiedlich proportional vom natürlichen O<sub>2</sub>-Gehalt abhängen. Bei den beobachteten durchschnittlichen Sommer-Gehalten von 6,6 mg O<sub>2</sub>/l im Mündungsgebiet der Elbe (MÖLLER & SCHOLZ 1991) entsprechen die Richtwerte bei hohem Schutzstatus demnach 6 mg O<sub>2</sub>/l und

bei einem niedrigen Status 4 mg O<sub>2</sub>/l. Dieses Modell bezieht sich auf natürliche, nicht anthropogen beeinflusste Sauerstoffgehalte, daher lässt es sich auf die O<sub>2</sub>-Verhältnisse im Hamburger Raum jedoch nicht anwenden. Selbst unter einem hohen Status betrüge der laut Autoren zu empfehlende Richtwert demnach nur 1 mg O<sub>2</sub>/l (bei den beobachteten durchschnittlichen 1,4 mg O<sub>2</sub>/l).

Bei dem von TURNPENNY *et al.* (2004) auf Grundlage von Literaturvergleichen und eigenen Experimenten mit Flundern, Stinten, Forellen, Lachsen, Streifenfischen, Strandgrundeln und Haseln entwickelten Konzept werden bei den vorgeschlagenen Minimalwerten für die untere Themse die Einwirkzeit und das zeitliche Auftreten mit berücksichtigt: Um ein Massensterben zu verhindern wird ein absolutes Minimum von 1,5 mg O<sub>2</sub>/l empfohlen. Bei einer Dauer von 6 Stunden (> 1 Tide) und einer Wiederkehrzeit von 5 Jahren werden 2 mg O<sub>2</sub>/l als Grenzwert, bei 24-stündiger Dauer (> 3 Tiden) und einer Wiederkehrzeit von 3 Jahren 3 mg O<sub>2</sub>/l empfohlen. Beides soll zum Schutz der Fischpopulationen dienen, wobei einzelne Todesfälle in Kauf genommen werden. Um chronische Folgen zu vermeiden wird daneben ein 1-Wochen-Grenzwert vorgeschlagen. Dieser liegt bei einem Auftreten von einer Woche (> 24 Tiden) und einer Wiederkehrzeit von 1 Jahr bei 4 mg O<sub>2</sub>/l.

Da die Themse ähnliche Bedingungen aufweist wie die Elbe, lassen sich die von TURNPENNY *et al.* (2004) empfohlenen Richtlinien gut übertragen. Da Sauerstoffwerte unter 2,0 mg O<sub>2</sub>/l bei Quappen bereits zu einer 100%-igen Mortalität führen, sollten O<sub>2</sub>-Konzentrationen von 3 mg O<sub>2</sub>/l zu keiner Zeit unterschritten werden. Um chronische Effekte auch bei Arten wie der Meerforelle, dem Lachs oder Stör zu vermeiden, sollten der 24h- und 1-Wochen Grenzwert auch jeweils um 1 mg O<sub>2</sub>/l erhöht werden (s. Tabelle 10). Um auf die besonders hohen Bedürfnisse des Nordseeschnäpels, der in den Wintermonaten in der Elbe bereits vorkommt und vermehrt zu erwarten ist, einzugehen, sollten die Sauerstoffgehalte für die Wintermonate um jeweils 1 mg O<sub>2</sub>/l höher liegen.

Tabelle 10: Empfohlene minimale Sauerstoffgehalte (modifiziert nach TURNPENNY *et al.* 2004)

| Gelöster Sauerstoff (mg O <sub>2</sub> /l) im Sommer | Gelöster Sauerstoff (mg O <sub>2</sub> /l) im Winter | Wiederkehrzeit (in Jahren) | Dauer (Anzahl an 6-stündiger Flut bzw. Ebbe) |
|--|--|----------------------------|--|
| 5  | 6  | 1                          | 29   |
| 4  | 5  | 3                          | 3  |
| 3  | 4  | 5                          | 1  |

## Fazit

Um den Zielen der EG-WRRL bezüglich der Qualitätskomponente Fischfauna gerecht zu werden, wird für den Gewässerteil der Tideelbe im Sommer eine maximale Gewässertemperatur von 25°C und im Winter von 10°C empfohlen. Unterhalb von Abwärmeeinleitungsstellen sollten die Temperaturerhöhungen gegenüber der oberhalb herrschenden Gewässertemperatur bei maximal 3 °C liegen, die oberen Richtwerte allerdings zu keiner Zeit überschritten werden.

Liegt die Sauerstoffkonzentrationen unter 5 mg O<sub>2</sub>/l wird eine Reduzierung des Temperaturmaximums um 4 °C mit jedem Konzentrationsabfall des Sauerstoffs um 1 mg/l für die Tideelbe empfohlen.

Die Mindestsauerstoffkonzentration von 3 mg O<sub>2</sub>/l im Gewässer sollte zu keiner Zeit unterschritten werden. Als Zielwert der Sauerstoffkonzentration im Gewässer werden für die Sommermonate 5 mg O<sub>2</sub>/l und für die Wintermonate 6 O<sub>2</sub>/l empfohlen.

## Referenzen

- ALABASTER, J.S. & LLOYD, R. (1980): Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths, London and Boston, (FAO-EIFAC).
- ALABASTER, J. S., SHURBEN, D. G. & MALLETT, M. J. (1979): The survival of smolts of salmon *Salmo salar* L. at low concentrations of dissolved oxygen. Journal of Fish Biology 15: 1-8.
- ALBRECHT, M. L. (1974): Untersuchungen zur Kälteadaptation von Warmwasserkarpfen (*Cyprinus carpio* L.). Z. für Binnenfischerei in der DDR 21: 103-114.
- ALBRECHT, M. L. (1977): Bedeutung des Sauerstoffs und Schädigung durch Sauerstoffmangel und Kohlesäureübersättigung bei Fischen. Z. für Binnenfischerei in der DDR 24(7): 207-213.
- AMLACHER, E. (1986): Taschenbuch der Fischkrankheiten. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 5.Aufl., 478 S.
- BARAS, E., JEANDRAIN, D., SEROUGE, B. & PHILIPPART, J. C. (1998): Seasonal variations in time and space utilization by radio-tagged yellow eels *Anguilla anguilla* (L.) in a small stream. Hydrobiologia 37(1/2): 187-198.
- BAUCH, G. (1957): Der Elblachs (*Salmo salar* L.), seine Biologie und wirtschaftliche Bedeutung. Z. f. Fischerei N.F. 6: 241-250.
- BAUCH, G. (1958): Untersuchungen über die Gründe für den Ertragsrückgang der Elbefischerei zwischen Elbsandsteingebirge und Boizenburg. Z. f. Fischerei N.F. 7: 161-437.
- BAUR, W.H. (1998): Gewässergüte bestimmen und beurteilen. Hamburg und Berlin, 3.Aufl.
- BAUR, W.H. & RAPP, J. (2003): Gesunde Fische. Parey Buchverlag Berlin, 2.Auflage, 317 S.
- BEAMISH, F.W.H. (1973): Oxygen consumption of adult *Petromyzon marinus* in relation to body weight and temperature. J. Fish. Res. Board Can. 30: 1367-1370.
- BEAMISH, F.W.H. (1980): Biology of the North American anadromous sea lamprey, *Petromyzon marinus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1924-1973.
- BEITINGER, T. L., BENNETT, W. A. & MCCAULEY, R. W. (2000): Temperature tolerance of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. Environmental Biology of Fishes 58: 237-275.
- BJORNIN, J.R. & REISER, D.W. (1991): Habitat requirements of salmonids in streams. In: Influence of Forest and Rangeland Management on Salmonids Fishes and Habitats. W.R. MEEHAN (Ed.), American Fisheries Society, Special Publication, 19: 83 - 138.
- BLACK, E.C., FRY, F.E.J. & BLACK, V.S. (1954): The influence of carbon dioxide on the utilization of oxygen by some freshwater fish. Can. J. Zool. 32: 408-420.
- BLAIR, A.A. (1938): Factors affecting growth of the scales of salmon (*Salmo salar*). PhD thesis, Univ. Toronto, Ontario, Canada, pp. 227.
- BOHL, M. (1999): Warnung von gefährlichem Krebshandel! In: Fischer und Teichwirt, 50 Jhg., H.11, S.437.

- BORKMANN, I. & FRENZEL, R. (2006): Untersuchungen zur Bewertung des ökologischen Zustandes von Oberflächengewässern des Landes Sachsen-Anhalt anhand der Fischfauna gemäß den Vorgaben der EU-Wasserrahmenrichtlinie. Projektabschlussbericht, Institut f. Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Januar 2006, 221S.
- BRÄMICK, U. (2001): Maifisch in Brandenburg wieder entdeckt. Naturschutz und Landschaftspflege in Brandenburg 10(4): 172.
- BREMSET, G. (2000): Seasonal and diet changes in behaviour, microhabitat use and preferences by young pool-dwelling Atlantic salmon, *Salmo salar*, and brown trout, *Salmo trutta*. Environmental Biology of Fishes 59: 163-179.
- BRETT, J. R. (1970): Temperature-fishes. Marine Ecology, Vol. 1: Environmental Factors, Part 1. O. Kinne (Ed.), Willey-Interscience, London, 1: 515-560.
- BRUMUND-RÜTHER, E. (1996): Fisch des Jahres 1996: Die Meerforelle. In: Die Meerforelle - Fisch des Jahres 1996, Hrsg. Verband Deutscher Sportfischer e.V., Offenbach am Main. S.3-48.
- BURDICK, G.E., LIPSCHUETZ, M., DEAN, H.J. & HARRIS, E.J. (1954): Lethal oxygen concentrations for trout and smallmouth bass. N.Y. Fish Game J. 1(1): 84-97.
- CHALIKOV, B.G. (1949): Atlanticheskii osëtri - Acipenser sturio Linné. In: L.S. Berg, A.S. Bogdanov, N.I. Kozhin, and T.S. Rass (Eds.) Promyslovye ryby SSSR. Opisaniya ryb. Pishchepromizdat, Moskva. Pp. 69-71.
- CHAPMAN, L. G., GALIS, F., & SHINN, J. (2000): Phenotypic plasticity and the possible role of genetic assimilation: Hypoxia-induced trade-offs in the morphological traits of an African cichlid. Ecology Letters 3(5): 387-393.
- CHARLON, N. (1969): Relation entre métabolisme respiratoire chez les poissons, teneur en oxygène et température. Extrait Bull. Soc. Histoire Naturelle de Toulouse, 105(1-2): 136-156.
- CLARIDGE, P.N. & POTTER, I.C. (1975): Oxygen consumption, ventilatory frequency and heart rate of lampreys (*Lampreta fluviatilis*) during their spawning run. J. Exp. Biol. 63: 193-206.
- COLAS, H. (1988): Faustzahlen für Hobbyteichwirte und Fischzüchter. In: Fisch-und-Fang-Taschenkalender, S.191-204.
- CRISP, D.T. (2000): Trout and Salmon - Ecology, Conservation and Rehabilitation. Blackwell Science Ltd., Oxford, 212pp.
- DAVIS, J.C. (1975): Minimal dissolved oxygen requirements on aquatic life with emphasis on Canadian species: a review. Journal of Fisheries Research Board of Canada, 32:2295-2332.
- de GROOT, S.J. (2002): A review of the past and present status of anadromous fish species in the Netherlands: is restocking the Rhine feasible? Hydrobiologia 478: 205-201.
- DOTTRENS, E. (1952): Poissons d'eau douce. II. des Siluridés aux Cyprinidés: 17. Famille des Clupéidés. Editions Delachaux et Niestlé:18-24.
- DOUDOROFF, P. & SHUMWAY, D. L. (1970): Dissolved oxygen requirements of freshwater fishes. Food and Agriculture Organization of the United Nations FAO Fisheries Technical Paper 86: 291pp.
- DUHAMEL DU MONCEAU, H.L. (1772): Traité général des Pesches et Histoire des Poissons, Paris. ;

- EIFAC (1969): Water quality criteria for European freshwater fish - water temperature and inland fisheries. *Water Research* 3: 645-662.
- ELLIOTT, J. M. (1976): Body composition of Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in relation to temperature and ration size. *J. Animal. Ecol.*, 45(1):273-289.
- ELLIOTT, J. M. (1981): Some aspects of thermal stress in freshwater teleosts. In: A.D. PICKERING (Ed.) *Stress and Fish*. Academic Press, London and New York: 209 - 245.
- ELLIOTT, J. M. (1991): Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Freshwater Biology* 25: 61-70.
- ELLIOTT, J. M. & Hurley, M.A. (1997): A functional model for maximum growth rate of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. *Functional Ecology*, 11: 592-603.
- ERICHSEN JONES, J.R. (1964): *Fish and River Pollution*. London, Butterworths, 203 pp.
- FARMER, G.J. (1980): Biology and physiology of feeding in adult lampreys. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1751-1761.
- FERGUSON, R.G. (1958): The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperature lakes. *J. Fish. Res. Board Can.* 15: 607-624.
- FISHER, K.C. & ELSON, P.F. (1956): The selected temperature of Atlantic salmon and speckled trout and the effect of temperature on the response to an electric stimulus. *Physiol. Zool.* 23: 27-34.
- FLÜCHTER, J. (1980): Review of the present knowledge of rearing whitefish (Coregonidae) larvae. *Aquaculture* 19: 191-208.
- FRITSCH, A. (1898): *Der Elblachs – Eine biologische-anatomische Studie*. Im Selbstverlag des Verfassers, Prag, 114 S.
- FROESE, R. & PAULY, D. Editors. 2008. *FishBase*. World Wide Web electronic publication. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org), version (02/2008).
- FROST, W.E. & BROWN, M.E. (1967): *The trout*, Collins, London, 286 pp.
- GALLANT, J., HARVEY-CLARK, C., MYERS, R.A. & STOKESBURY, M.J.W. (2006): Sea lamprey attached to a Greenland shark in the St. Lawrence estuary, Canada. *Northeastern Naturalist* 13(1): 35-38.
- GAUMERT, T. (1995): Spektrum und Verbreitung der Rundmäuler und Fische in der Elbe von der Quelle bis zur Mündung. *ARGE Elbe* (Hrsg.), 29 S.
- GAUMERT, T. (2006): Interne Arbeitsunterlage der Wassergütestelle aus dem Jahr 2005/2006.
- GAUMERT, T. & BERGEMANN, M. (2007): Sauerstoffgehalte der Tideelbe - Entwicklung der kritischen Sauerstoffgehalte im Jahr 2007 und in den Vorjahren, Erörterung möglicher Ursachen und Handlungsoptionen. *ARGE Elbe* (Hrsg.), 10 S.
- GERKENS, K. & THIEL, R. (2001): Habitat use of age - 0 Twait Shad (*Alosa fallax* Lacépède, 1803) in the tidal freshwater region of the Elbe river, Germany. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 362/363: 773-784.

- GRANDE, M. & ANDERSEN, S. (1991): Critical thermal maxima for young salmonids. *Journal of Freshwater Ecology* 6: 275-279.
- GRITZKE, M. (1980): Experimentelle Versuche über Transporteffekte auf das Verhalten von Aalbrut. Dipl.-Arbeit Fachbereich Biologie, Univ. Hamburg
- GUNNES, K. (1979): Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperatures. *Aquaculture*, 16: 211-218.
- HARDISTY, M.W. (1986a): General introduction to lampreys. In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/I - Petromyzontiformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 19-83.
- HARDISTY, M.W. (1986b): *Lampetra fluviatilis* (Linnaeus, 1758). In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/I - Petromyzontiformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 249-278
- HARDISTY, M.W. (1986c): *Petromyzon marinus* Linnaeus 1758. In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/I - Petromyzontiformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 94-116.
- HASS, H. (1968): Untersuchung über die vertikale und horizontale Verteilung der Eier der Finte, *Alosa fallax* Lac., in der Elbe. *Arch. FischWiss.* 19(1): 46-55.
- HAURY, J., OMBREDANE, D. & BAGLINIÈRE, J.L. (1999): The habitat of the brown trout (*Salmo trutta* L.) in water courses. In: *Biology and Ecology of the Brown and Sea Trout*. J.L. Baglinière & G. Maisse (Eds.), Springer Verlag Berlin Heidelberg New York: 37 – 89.
- HILL, L.G. (1969): Reactions of the American eel to dissolved oxygen tensions. *Tex. J. Sci.* 20: 305-313.
- HOCHLEITNER, M. (1996): Störe - Verbreitung, Lebensweise, Aquakultur. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg. 202 S.
- HOCHLEITNER, M. (2002): Die Quappe (*Lota lota* L.) - Biologie und Aquakultur. In: *Die Quappe (Lota lota)-Fisch des Jahres 2002*. Hrsg. Verband Deutscher Sportfischer e.V., Offenbach am Main, S.23-37.
- HOESTLANDT, H. (1958): Reproduction de l'alose atlantique (*Alosa alosa* L.) et transfert au Bassin méditerranéen. *Verh. Intern. Verein.Limnol.* 13: 736-842.
- HOLČÍK, J., BĂNĂRESCU, P. & EVANS, D. (1989): General Introduction to Fishes. In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/II - General Introduction to Fishes, Acipenseriformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden:18-147
- HUMPESCH, U.H. (1985): Inter- and intra-specific variation in hatching succes to improved management-related research. *Transaction of the American Fisheries Society*, 105: 361-364.
- IKONEN, E. (1982): Migration of river-spawning whitefish in the Gulf of finland. *Finn. Fish.Res.* 4: 40-45.
- ITAZAWA, Y. (1970): Characteristics of respiration of fish considered from the arterio-venous difference of oxygen content. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* 36: 571-577.
- JÄGER, T. (1999): Die Wiedereinbürgerung des Nordseeschnäpels. In: *Fisch des Jahres 1999 – Der Nordseeschnäpel*. Verband Deutscher Sportfischer e.V. (Hrsg.), Offenbach: 3-11.
- JAVOID, M.Y. & ANDERSON, J.M. (1967a): Influence of starvation on selected temperature of some salmonids. *J. Fish. Res. Board Can* 24: 1515-1519.

- JAVOID, M.Y. & ANDERSON, J.M. (1967b): Thermal acclimation and temperature selection in Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout, *S. gairdneri*. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 24: 1507-1513.
- KIRCHHOFER, A. (1995): Schutzkonzept für Bachneunaugen (*Lampetra planeri*) in der Schweiz. Fischökologie 8: 93-105.
- KIRSCHBAUM, F. & GESSNER, J. (2001): Zur Biologie der Störe, In: Der Stör (*Acipenser sturio* L.) Fisch des Jahres 2001, Hrsg. Verband Deutscher Sportfischer e.V., Offenbach: 7-14.
- KLEIN-BRETELER, I.P.H.M. (1983): Opkomst van de houtingachtigen in de Nederland? Visserij 36 (3): 168-181.
- KNÖSCHE, R. & ZAHN, S. (2006): Wiederherstellung der Fischfauna der Mittel-Elbe, insbesondere des Großcoregonenbestandes. Projektbericht, Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 24 S.
- KÖHLER, A. (1981): Fluktuationen der Fischfauna im Elbe-Astuar als Indikator für ein Gestörtes Ökosystem. Helgoländer Meeresunters. 34(3): 263-285.
- KÜTTEL, S., PETER, A. & WÜEST, A. (2002): Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fließgewässer. Rhône-Thur Publikation Nr 1. EAWAG, Kastanienbaum, <http://www.rhone-thur.eawag.ch/publikationen.html>.
- LACHANCE, S., MAGNAN, P. & FITZGERALD, G.J. (1987): Temperature preferences of three sympatric sticklebacks (Gasterostidae). Can. J. Zool. 65: 1573-1576.
- LAM, T. J. (1983): Environmental influences on gonadal activity. In: Fish Physiology - Reproduction, Part B: Behavior and fertility control. W. S. HOAR, D. J. RANDALL & E. M. DONALDSON (Eds.), Academic Press, New York and London: 65-116.
- LANGFORD, T. E. L. (1990). Ecological effects of thermal discharges. London, Elsevier Applied Sciences, 468 p.
- LEINER, M. (1934): Beiträge zur ontogenetischen Entwicklung der drei europäischen Stichlingsarten und ihrer Kreuzungsprodukte. Z.wiss.Zool. 145: 366-388.
- MACEY, D.J. & POTTER, I.C. (1978): Lethal temperatures of ammocoetes of the Southern Hemisphere lamprey, *Geotria australis* Gray. Env. Biol. Fish. Vol. 3 (2): 241-243.
- MACFARLAND, W. E. (1931). A study of the Bay of Fundy herring. Ann. Rept. Biol. Board Canada for 1930: 23-24.
- MANTELMANN, J.J. (1958): Distribution of the young of certain species of fish in temperature gradients. Izv. Vses. Nauchno-Issled Inst. ozern. Recbr. Ryb. Khoz. 47:3-61 (Translated from russian by Fish. Res. Can., Transl. Ser. No. 257, 1960)
- MCCAULEY, R.W. (1963): Lethal temperatures of the developmental stages of the sea lamprey, *Petromyzon marinus* L. J. Fish. Res. Board Can. 20: 483-490.
- MILLS, D.H. (1971): Salmon and Trout Resources, its Ecology, Conservation and Management. Oliver & Boyd, Edinburgh, 351pp.
- MOHR, E. (1941): Maifische (Clupeiden), In: Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas, DEMOLL, R. & MAIER, H.N. (Hrsg.) III-A (7): 527-551.

MÖLLER, H. & SCHOLZ, U. (1991): Avoidance of oxygen-poor zones by fish in the Elbe River. J. Appl. Ichthyol. 7: 176-182.

MORGAN, I. J. & METCALFE, N. B. (2001): The influence of energetic requirements on the preferred temperature of overwintering juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 58(4): 762-768.

MÜLLER-BELECKE, A. (2008): Entwicklung einer Technologie zur kontrollierten Erzeugung von Frühbrut beim Zander. Projektabschlussbericht, Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, 35 S.

NEUENFELDT, S. (2002): The influence of oxygen saturation on the distributional overlap of predator (cod, *Gadus morhua*) and prey (herring, *Clupea harengus*) in the Bornholm Basin of the Baltic Sea. Fisheries Oceanography 11(1): 11-17.

PAEPKE, H.J. (1996): Die Stichlinge. Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 175 S.

PAEPKE, H.J. (2002): *Gasterosteus aculeatus*. In: The Freshwater Fishes of Europe, Vol. 5/III - Cyprinidae 2/III and Gasterostidae. P.M. BĂNĂRESCU & H.J. PAEPKE (Eds.) AULA-Verlag, Wiesbaden: 209-256.

PENAZ, M., WOHLGEMUTH, E., STOURACOVA, I. & PROKES, M. (1988): Influence of water temperature upon the growth and mortality rates of glass eels, *Anguilla anguilla* using water recirculation. Folia Zoologica 37: 263-272.

PENTELOW, F.T.K. (1939): The relation between growth and food consumption in the brown trout (*Salmo trutta*). J. exp. Biol. 16(4): 446-473.

PHILIPPART, J.P. & VRANKEN, M. (1982): Pour la conversation de notre faune ichthyologique. Réserves naturelles (Belgique) No. 4: 41-50.

PIAVIS, G.W. (1971): Embryology. In: The Biology of Lampreys. Vol. 1. M.W. HARDISTY & I.C. POTTER (Eds.) Academic Press, London - New York: 361-400.

POTTER, I.C. & BEAMISH, F.W.H. (1975): Lethal Temperatures in Ammocoetes of Four Species of Lampreys. Acta Zoologica 56: 85-91.

POXTON, M. G. (1991): Incubation of salmon eggs and rearing of alevins: Natural temperature fluctuations and their influence on hatchery requirements. Aquacultural Engineering 10: 31-53.

PRIVOLVNEV, T.I. (1954): Physiological adaptations of fishes to new conditions of existence. (Russian) Trudy Soveshch. Ikhtiol. Kom. (Akad. Nauk SSSR), 3:40-49.

QUIGNARD, J.P. & DOUCHEMENT, C.L. (1991a): *Alosa alosa*. In: The Freshwater Fishes of Europe Vol. 2 - Clupidae, Anguillidae, H. HOESTLAND (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 89-126

QUIGNARD, J.P. & DOUCHEMENT, C.L. (1991b): *Alosa fallax fallax*. In: The Freshwater Fishes of Europe Vol. 2 - Clupidae, Anguillidae, H. HOESTLAND (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 225-253

REDECKE, H.C. (1939): Über den Bastard *Clupea Alosa finta* Hoek. Arch. Neerl. Zool., Suppl. 3: 148-158.

REICHLE, G. (1997) Der Stör. Verlag Lassleben, Kallmünz. 80 S.

- REID, R.N., CARGNELLI, L.M., GRIESBACH S.J., PACKER, D. B., JOHNSON, D. L., ZETLIN, C. A., MORSE, W. W. & BERRIEN P. L. (1999): Essential Fish Habitat Source Document: Atlantic Herring, *Clupea harengus*, Life History and Habitat Characteristics. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-126, U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, Massachusetts, USA, 48p.
- REINARTZ, R. (2007): Auswirkungen der Gewässererwärmung auf die Physiologie und Ökologie der Süßwasserfische Bayerns - Literaturstudie im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt Referat 57 / Gewässerökologie
- REYNOLDS, W.M. & CASTERLIN, M.E. (1978): Behavioural thermoregulation by ammocoete larvae of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in an electric shuttle box. *Hydrobiologia* 61: 145-147.
- RØED, K. H. (1979): Temperature preference of the 3-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. (Pisces), collected at different seasons. *Sarsia* 64: 137-141.
- ROSENTHAL, H. & MUNRO, A.L.S. (1985): Der aquatische Lebensraum, Umweltbedingungen in natürlichen Gewässern und Aquakulturen. In: Grundlagen der Fischpathologie. R.J. ROBERTS & H.J. SCHLOTFELDT, Berlin und Hamburg: 1 - 22.
- ROULE, L. (1922): La migration reproductrice at la protandrie de l'Alosa feinte. *Ann. Sci. Nat. Zool.* V (1-2): 61-76.
- ROULE, L. (1925): Les Poissons des eaux douces de la France. Presses Universitaires de France, Paris. 228pp.
- SADLER, K. (1979): Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of Fish Biology* 15 (4): 499-507.
- SAROGLIA, M., TEROVA, G., STRADIS, A. & CAPUTO, A. (2002): Morphometric adaptations of sea bass gills to different dissolved oxygen partial pressures. *Journal of Fish Biology* 60(6): 1423-1430.
- SCHÄPERCLAUS, W. (1990): Fischkrankheiten. Akademie-Verlag Berlin, 5. Auflage, Teil II: 509-1123.
- SCHIEFFEL, H.J. (1999): Die Biologie des Nordseeschnäpels. In: Der Nordseeschnäpel - Fisch des Jahres 1999. Verband Deutscher Sportfischer e.V. (Hrsg.): 12-37.
- SCHMEING-ENGBERDING, F. (1953): Die Vorzugstemperaturen einiger Knochenfische und ihre physiologische Bedeutung. *Zeitschrift für Fischerei und deren Hilfswissenschaften* 2: 125 - 155.
- SCHRECKENBACH, K. (2001): Anpassung von Fischen an Temperaturänderungen. In: Auf Auf, H. 2: 9-11.
- SCHRECKENBACH, K. (2002): Einfluss von Umwelt und Ernährung bei der Aufzucht und beim Besatz von Fischen. In: Nachhaltige Fischereiausübung. G.Keiz (Hrsg.), Fischerei & Naturschutz, VDSF-Schriftenreihe 04/2002: 55-72.
- SCHRECKENBACH, K. & SPANGENBERG, R. (1984): Die Ursache der Drehererkrankung des Karpfens (*Cyprinus carpio*). *Fortsch. Fisch. Wiss.* 3: 23-46.
- SCHUBERT, H.-J. (1996): Überprüfung des Steigaalaufstiegs an der Staustufe Geesthacht April – Juni 1996. *LimnoBios*, unveröffentlichter Bericht

- SJÖBERG, K. (1974): Lektid rörelsaktivitet och längd/vikt hos flodnejönöga. Zool. Revy 36: 41-47.
- SPILLMAN, C.J. (1961): Poisson d'eaux douce. In: Faune de France N° 65. P. Chevalier, Paris 303pp.
- SVETOVIDOV, A.N. (1963): Systematic report on anadromous clupeids of the genera *Alosa*, *Caspialosa*, and *Pomolobus* in Europe and North America. Zool. Zh. AN U.S.S.R. 42(10):1523-1538 (in Russian)
- SWIFT, D.R. (1961): The annual growth-rate cycle in brown trout (*Salmo trutta* L.) and its cause. J. exp. Biol. 38: 595-604.
- SWIFT, D.R. (1963): Influence of oxygen concentration on growth of brown trout, *Salmo trutta* L. Trans. Am. Fish. Soc. 92(3): 300-301.
- THIEL, R., CABRAL, H. & COSTA, M. J. (2003): Composition, temporal changes and ecological guild classification of the ichthyofaunas of large European estuaries - a comparison between the Tagus (Portugal) and the Elbe (Germany). Journal of Applied Ichthyology 19(5): 330-342.
- THIEL, R., MEHNER, T., KOPCKE, B. & KAFEMANN, R. (1996): Diet Niche Relationships among Early Life Stages of Fish in German Estuaries. Marine and Freshwater Research 47(2): 123-136.
- THIENEMANN, A. (1925): Die Süßwasserfische Deutschlands - Eine tiergeographische Skizze, in: R. Demoll & H.N. Maier (Hrsg.), Handbuch der Binnenfischerei Mitteleuropas, Bd. III A, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart: 1 - 32.
- TUNNAINEN, P., IKONEN, E. & AUVINEN, H. (1980): Lampreys and lamprey fisheries in Finland. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1953-1973.
- TURNPENNY, A. W. H., CLOUGH, S. C., HOLDEN, S.D.J., BRIDGES, M., BIRD, H., O'KEEFE, N.J., JOHNSON, J., EDMONDS, M. & HINKS, C. (2004): Thames Tideway Strategy: Experimental studies on the dissolved oxygen requirements of fish. FCR 374/04 Babbie Aquatic (FARL), April 2004.
- TURNPENNY, A.W.H, COUGHLAN, J. & LINEY, K.E. (2006) Review of temperature and dissolved oxygen effects on fish in transitional waters. Environment Agency report
- TURNPENNY, A.W.H. & LINEY, K.E. (2006): Review and development of temperature standards for marine and freshwater environments. Jakobs report, client: SNIFFER 21960.
- VARLEY, M. E. (1967): British Freshwater Fishes - Factors Affecting their Distribution. London: Fishing News (Books) Limited.
- VDSF – Verband Deutscher Sportfischer e.V. (2003): Lachse in Deutschland – Dokumentation der Widereinbürgerungsprojekte des atlantischen Lachses (*Salmo salar* L.) in Deutschland. Offenbach am Main, Juni 2003, 135 S.
- VINCENT, P.J.B. (1894): Notes sur l'Alose (3 parties). Rev. Marit. Et coloniale 122: 667-681; 123: 193-205; 124: 445-451
- WHEELER, A. (1969): The fishes of the British Isles and North-West Europe. Michigan State University Press, East Lansing, 613 pp.
- WINGFIELD, C.A. (1940): The effect of certain environmental factors on the growth of brown trout (*Salmo trutta* L.). J. exp. Biol. 17: 435-448.

WOLF, R. (2008) Abwanderung juveniler Lachse aus dem Stepenitz-System. Diplomarbeit, Fachhochschule Anhalt, Fachbereich: Naturschutz und Landschaftsplanung, Bernburg (im Druck).

WOLTER, C., ARLINGHUS, R., GROSCH, U.A., VILCINSKAS, A. (2003): Fische & Fischerei in Berlin. Zeitschrift für Fischkunde, Suppl.Bd. 2, 164pp.

WOLTER, C., BISCHOFF, A., FÜLLNER, G., GAUMERT, T. & WYSUJACK, K. (2004): Ein modellbasierter Ansatz zur Entwicklung fischfaunistischer Referenzen, dargestellt am Beispiel der Elbe. Fischer & Teichwirt, 55, 10/2004: 850-852.

## Anhangstabelle Gewässertemperatur:

Temperaturpräferenzen und -grenzwerte mit den entsprechenden Literaturquellen, aufgelistet nach Fischart und Altersstadium und mit der Angabe, für welche Art bzw. Fischgruppe die Werte gemacht wurden.

| Gewässertemperatur [°C]                                    |                      |                     |   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  |   |
|--|----------------------|---------------------|---|------------------------------|---------------------------------|-----------|--|--------------------------------|------------------------------|--|---|
| Relevant für   | Grenzwertangaben für | Altersstadium       | Laichtemperatur   | unterer kritischer Bereich   | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum   | Vorzugstemperatur  | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich    | Bemerkungen  | Literaturquelle   |
| Atlantischer Hering ( <i>Clupea harengus</i> )             | <i>C. harengus</i>   | Adulte              | 7 - 15°C  |                              |                                 |           |  |                                |                              | beobachtet im Golf von Maina, USA  | REID <i>et al.</i> (1999)                                   |
|  | <i>C. harengus</i>   | Eier                |   | 0 - 5 °C (keine Entwicklung) |                                 | 10 - 15°C |  |                                | 20°C (lethal)                |  | MACFARLAND (1931)   |
|  | <i>C. harengus</i>   | Eier                |   |                              |                                 |           | 12 - 15°C (Georges Bank, Canada), 6 - 13°C (Nantucket Shoals, Canada), 8 - 12°C (Grand Manan Island, Canada) |                                |                              |  | REID <i>et al.</i> (1999)                                   |
|  | <i>C. harengus</i>   | Juvenile            |   |                              | -1,1°C (ILLT)                   |           | 8 - 12°C   |                                | 19,5 - 21,2°C (IULT)         | unter Laborbedingungen   | REID <i>et al.</i> (1999)                                   |
|  | <i>C. harengus</i>   | Juvenile            |   |                              |                                 |           | 10 - 16°C  |                                |                              | im Sheepscoot River, Maina, USA  | REID <i>et al.</i> (1999)                                   |
|  | <i>C. harengus</i>   | Larven              |   |                              |                                 | 9°C       |  |                                | 16°C                         |  | REID <i>et al.</i> (1999)                                   |
|  | <i>C. harengus</i>   |                     |   |                              |                                 |           |  |                                |                              | Klima des Verbreitungsgebietes 1 - 18°C  | FROESE & PAULY (2008)                                       |
| Atlantischer Stör ( <i>Acipenser sturio</i> )              | <i>A. sturio</i>     | Adulte              | 7,7 - 22°C  |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | CHALIKOV (1949), entnommen aus: HOLČIK <i>et al.</i> (1989) |
|  | <i>A. sturio</i>     | Adulte              | 17 - 18°C   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                 |
|  | Störe allg.          | Adulte              | bei 10 - 20°C (in Abhängigkeit von Photoperiode und Strömung) |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Adulte              |   |                              |                                 |           |  |                                |                              | "Wichtig zur Erreichung der Laichreife ist der normale, nat. Temperaturverlauf des Wasser, d.h. im Winter kalt und im Sommer warm. Bei einer dauernden Haltung der Laichfische >18°C und <6°C werden die nicht reif bzw. wieder resorbiert." | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Adulte              |   | 1°C                          |                                 |           |  |                                | 30°C                         | vertragen allg. in der Aquakultur Temperaturen von 1 - 30° C   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Adulte              |   |                              | < 5°C (schlechte Verdauung)     |           |  |                                | > 25°C (schlechte Verdauung) | Beobachtung aus der Aquakultur;  | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Adulte              |   |                              |                                 |           | 20 - 22°C  |                                |                              | Aquakultur   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allgemein      | Adulte              | 15 - 20°C   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | de GROOT (2002)   |
|  | <i>A. sturio</i>     | Adulte              | 15 - 20°C   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | KIRSCHBAUM & GESSNER (2001)                                 |
|  | Störe allg.          | Eier                |   |                              |                                 |           | 14 - 16°C  |                                |                              | Aquakultur   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Eier                |   |                              |                                 |           |  |                                | > 15°C                       | Beobachtung aus der Aquakultur;  | REICHLE (1997)  |
|  | Störe allg.          | Juvenile            |   |                              |                                 |           | 18 - 20°C  |                                |                              | Aquakultur   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Juvenile            |   |                              |                                 |           | 16 - 18°C  |                                |                              | Aquakultur   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | Störe allg.          | Larven              |   |                              |                                 |           | 15 - 17°C  |                                |                              | Aquakultur   | HOCHLEITNER (1996)  |
|  | <i>A. sturio</i>     |                     |   |                              |                                 |           |  |                                |                              | Klima des Verbreitungsgebietes 10 - 18°C   | FROESE & PAULY (2008)                                       |
| Dreistachliger Stichling ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> ) | <i>G. aculeatus</i>  | +0 / +1             |   |                              |                                 |           | 4 - 8°C, meiden >11°C  |                                |                              |  | RÖED (1979)   |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Adulte              |   |                              |                                 |           | 9 - 12°C   |                                |                              | unter Laborbedingungen   | LECHANCE <i>et al.</i> (1987)                               |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Adulte              | 13 - 18°C   |                              |                                 | 15-22°C   |  |                                | 30 - 35°C                    |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                 |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Adulte              |   |                              |                                 | 4 - 20°C  |  |                                |                              |  | ELLIOTT (1981)  |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Adulte              | > 20°C  |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | LAM (1983)  |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Adulte              | 12 - 18°C   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | ELLIOTT (1981)  |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Eier                |   |                              |                                 |           | 18 - 19°C  |                                |                              | Je mehr die Temperatur von diesem Optimum abweicht, verlängert oder verzögert sich die Embryonalentwicklung. Krasse Abweichung führen zu starken Entwicklungsstörungen.  | PAEPKE (1996)   |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Eier                |   |                              |                                 |           | 20°C   |                                |                              |  | LEINER (1934)   |
|  | <i>G. aculeatus</i>  | Eier                |   |                              |                                 |           |  |                                | >27°C (IULT)                 |  | ELLIOTT (1981)  |
|  |                      | <i>G. aculeatus</i> |   |                              |                                 |           |  |                                |                              |  | Klima des Verbreitungsgebietes 4 - 20°C                     |

| Gewässertemperatur [°C]                       |                      |               |                      |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   |  |
|---|----------------------|---------------|----------------------|----------------------------|---------------------------------|---|-------------------|--------------------------------|----------------------------|---|--|
| Relevant für                                  | Grenzwertangaben für | Altersstadium | Laichtemperatur      | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum   | Vorzugstemperatur | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich  | Bemerkungen                             | Literaturquelle  |
| Europäischer Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> ) | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      | 1 - 3°C                    |                                 | 22 - 23°C   |                   |                                | 38°C (IULT), >33°C (CTMax) |   | SADLER (1979)  |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      |                            |                                 | 18-25°C   |                   |                                | 35°C                       |   | WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      | 0 - 8°C                    |                                 | 8 - 29°C  |                   |                                | 30 - 39°C                  |   | ELLIOTT (1981)   |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      |                            |                                 | 22 - 23°C (max. Wachstumsrate)                                |                   |                                | 33°C; IULT: 38°C           |   | SADLER (1979)  |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      | 1 - 3°C (Erstarren)        |                                 |   |                   |                                |                            |   | REINARTZ (2007)  |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Adulte        |                      |                            |                                 | bei Tagesmittelwerten von 13° keine oder sehr wenig Aktivität |                   |                                |                            |   | BARAS <i>et al.</i> (1998)   |
|   | <i>A. anguilla</i>   | Glasaale      |                      |                            |                                 | <15°C kein Wachstum   |                   |                                |                            |   | PENAZ <i>et al.</i> (1988)   |
| Finte ( <i>Alosa fallax</i> )                 | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | 11 - 12°C            |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | de GROOT (2002)  |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | Beginn bei 12,7°C    |                            |                                 |   |                   |                                |                            | In der Elbe beobachtet;                 | HASS (1968)  |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | Beginn bei 15 - 16°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            | In Nordeuropa beobachtet;               | SVETOVODIV (1963), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991b)          |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | Beginn bei 17 - 18°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            | In der Seine beobachtet;                | ROULE (1925), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991b)               |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | Beginn bei 18 - 20°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            | Im Rhein beobachtet;                    | REDECKE (1939), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991b)             |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | Beginn bei 18 - 22°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | SPILLMANN (1961), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991b)           |
|   | <i>A. fallax</i>     | Adulte        | 15 - 20°C            |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | FROESE & PAULY (2008)  |
|   | <i>A. fallax</i>     | Eier          |                      |                            |                                 | 15 - 25°C   |                   |                                |                            |   | VINCENT (1894), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991b)             |
|   | <i>A. fallax</i>     | Larven        |                      |                            |                                 |   | 17 - 21,5°C       |                                |                            |   | GERKENS & THIEL (2001)   |
| Maifisch ( <i>Alosa alosa</i> )               | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 15/16°C   |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | ROULE (19223), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a)              |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 17 - 18°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | DOTTRENS (1952), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a)            |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 17 - 19°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | DUHAMEL DU MONCEAU (1772), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a)  |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 18°C      |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | HOESTLANDT (1958), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a)          |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 16 - 22°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | PHILIPPART & RANKEN (1982); entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a) |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Beginn bei 15 - 25°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | MOHR (1941)  |
|   | <i>A. alosa</i>      | Adulte        | Optimum bei 22 -24°C |                            |                                 |   |                   |                                |                            |   | DOTTRENS (1952), entnommen aus: QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991a)            |
|   | <i>A. alosa</i>      | Eier          |                      |                            |                                 | sensitiv gegenüber Wassertemp. < 16/18°C                      |                   |                                |                            |   | QUIGNARD & DOUCHEMENT (1991)   |
| Flunder ( <i>Platichthys flesus</i> )         | <i>P. flesus</i>     | Adulte        | 12 - 16°C            |                            |                                 | 21 - 23°C   |                   |                                | 31°C                       |   | WOLTER <i>et al.</i> (2003)  |
|   | <i>P. flesus</i>     |               |                      |                            |                                 |   |                   |                                |                            | Klima des Verbreitungsgebietes 5 - 25°C | FROESE & PAULY (2008)  |

| Gewässertemperatur [°C]                       |                       |               |   |                            |                                 |   |   |                                |  |   |  |
|---|-----------------------|---------------|---|----------------------------|---------------------------------|---|---|--------------------------------|--|---|--|
| Relevant für                                  | Grenzwertangaben für  | Altersstadium | Laichtemperatur                                       | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum                                   | Vorzugstemperatur                                     | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich  | Bemerkungen   | Literaturquelle  |
| Flussneunauge ( <i>Lamprota fluviatilis</i> ) | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        | Beginn bei 10/11°C                                    |                            |                                 |   |   |                                |  | Wenn Temperatur schnell steigt, wird auch bei höheren Temperatur abgelaicht.  | HARDISTY (1986a)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        | 12 - 14°C   |                            |                                 |   |   |                                |  | In Finnland beobachtet.   | TUNAINEN et al. (1980)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        | 9 - 10°C, 10 - 11°C und 9 - 12,5°C                    |                            |                                 |   |   |                                |  | In Schweden in 3 aufeinander folgenden Jahren.  | SJÖBERG (1974)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        |   |                            |                                 |   |   |                                |  | Bei einer konstanten Haltungstemp. von 9,5°C über den Winter konnten die Flußneunaugen ihre Geschlechtsreife wie die freien Individuen entwickeln. Bei Temp. von 16°C bis März oder 5°C bis Mai entwickelten sich die Ind. nicht vollständig. | CLARIDGE & POTTER (1975)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        | > 10-11°C   |                            |                                 |   |   |                                |  |   | KIRCHHOFFER (1985)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte        | 7 - 16°C  |                            |                                 |   |   |                                | 30°C   |   | WOLTER et al. (2003)   |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Larven        |   |                            |                                 | 15°C                                      |   |                                |  |   | HARDISTY (1986b9)  |
|   | <i>L. fluviatilis</i> |               |   |                            |                                 |   |   |                                |  | Klima des Verbreitungsgebietes 5 - 18°C   | FROESE & PAULY (2008)  |
| Meerneunauge ( <i>Petromyzon marinus</i> )    | <i>P. marinus</i>     | Adulte        | < 15°C nicht beobachtet                               |                            |                                 |   |   |                                |  |   | HARDISTY (1986a)   |
|   | <i>P. marinus</i>     | Adulte        | höchste Laichrate: 17 - 19°C in New Brunswick, Canada |                            |                                 |   |   |                                |  |   | BEAMISH (19809)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Adulte        |   |                            |                                 | 15°C (kl. Individuen) und 20°C (gr. Ind.) |   |                                |  | Für optimales Wachstum in Aquarien.   | FARMER (1980)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Adulte        | 15 - 16°C   |                            |                                 |   |   |                                | 30°C   |   | WOLTER et al. (2003)   |
|   | <i>P. marinus</i>     | Eier          |   |                            |                                 | 12 - 26°C für Eischlupf                   |   |                                |  |   | McCAULEY (1963)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Eier          |   |                            |                                 | 18,3°C                                    |   |                                |  |   | PIAVIS (1971)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Eier          |   |                            |                                 | 15°C                                      | 18 - 19°C   |                                | 25°C   | Falls der Kopf schon entwickelt ist, kann der Toleranzbereich größer sein.  | McCAULEY (1963)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Larven        |   |                            |                                 |   |   |                                | 31,4°C (IULT)  |   | POTTER & BEAMISH (1975)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Larven        |   |                            |                                 |   | 10 - 19°C   |                                |  |   | REYNOLDS & CASTERLIN (1978)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Larven        |   |                            |                                 |   |   |                                | 31,4°C (LT50)  |   | MACEY & POTTER (1978)  |
|   | <i>P. marinus</i>     | Larven        |   |                            |                                 |   |   |                                | LT bei Akklimatisationsste mp. von 5°C, 15°C und 25°C: 29,5°C, 30°C bzw. 31°C. |   | POTTER & BEAMISH (1975)  |
| <i>P. marinus</i>                             |                       |               |   |                            |                                 |   |   |                                | Klima des Verbreitungsgebietes 5 - 20°C  | FROESE & PAULY (2008)   |  |
| Atlantischer Lachs ( <i>Salmo salar</i> )     | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 | 13 - 15°C                                 |   |                                |  |   | ROSENTHAL & MUNRO (1985)   |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 |   | 14 - 15°C   |                                |  |   | FISHER & ELSON (1956), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)     |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 |   | 18°C  |                                |  |   | JAVAID & ANDERSON (1967a), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985) |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        | 2 - 6°C   |                            |                                 | 12 - 15°C                                 |   |                                | 28°C   |   | WOLTER et al. (2003)   |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 |   | bevorzugt 9 - 17°C, finales Präferendum bei 14 - 15°C |                                |  |   | EIFAC (1969)   |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 | 6 - 20°C                                  |   |                                | 20 - 34°C  |   | ELLIOTT (1981)   |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte        |   |                            |                                 |   |   |                                | 27/28°C (IULT)   |   | BJORNIN & REISER (1991)  |

| Gewässertemperatur [°C]                                 |                           |                     |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  |  |   |   |
|---|---------------------------|---------------------|-----------------|----------------------------|---|-----------------------------------|-------------------|--------------------------------|--|--|---|---|
| Relevant für  | Grenzwertangaben für      | Altersstadium       | Laichtemperatur | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich   | Optimum                           | Vorzugstemperatur | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich              | Bemerkungen  | Literaturquelle   |   |
| Atlantischer Lachs ( <i>Salmo salar</i> )               | <i>S. salar</i>           | Adulte              |                 |                            |   | 13 - 15 °C (max. Wachstum)        |                   |                                | 29 °C (CLMax)                          |  | BEITINGER <i>et al.</i> (2000)                              |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Adulte              |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  |  | EIFAC (1969)  |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Adulte              | 6 - 8 °C        |                            |   |                                   |                   |                                |  |  | EIFAC (1969)  |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Adulte              | 1 - 6 °C        |                            |   |                                   |                   |                                |  |  | ALABASTER & LLOYD (1980)                                    |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Eier                |                 | 0°C (ILLT)                 |   |                                   |                   |                                | 12°C (IULT)                            |  | GUNNES (1979)   |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Eier                |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  | Tempbereich, indem die Überlebensrate der Eier > 50% ist: 0-<12,0°C            | GUNNES (1979)   |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Eier                |                 |                            |   |                                   |                   |                                | 16°C (IULT)                            |  | ELLIOTT (1981)  |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Eier                |                 |                            |   | 4 - 11°C                          |                   |                                |  |  | POXTON (1991)   |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   |                                   | 16°C              |                                |  |  | MANTELMAANN (1958), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985) |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   | 7°C                               |                   |                                | 23°C                                   |  | ELLIOTT & HURLEY (1997)                                     |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   |                                   |                   |                                | 27°C                                   |  | ELLIOTT (1991)  |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   |                                   |                   | 17°C                           |  |  | JAVAI & ANDERSON (1967b)                                    |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   |                                   |                   | 10°C im Winter                 |  |  | MORGAN & METCALFE (2001)                                    |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   | fressen auch noch bei Temp. < 0°C |                   |                                |  |  | BREMSET (2000)  |   |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 | 2°C (ILLT)                 |   |                                   |                   |                                |  | 28°C (IULT)  |   | ELLIOTT (1991)  |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile (0+ / +1)  |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  | 33°C (CTMax)   |   | BEITINGER <i>et al.</i> (2000)                        |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile (0+)       |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  | 29°C (CTMax)   |   | GRANDE & ANDERSON (1991)                              |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile und Adulte |                 |                            |   |                                   | 14,2°C            |                                |  |  |   | BLAIR (1938), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985) |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile, Adulte    |                 |                            |   |                                   | 16°C              |                                |  |  |   | ELLIOTT (1991)  |
|   | <i>S. salar</i>           | Juvenile            |                 |                            |   |                                   | 15,9°C            |                                |  |  | bezieht sich auf das Wachstum                               | ELLIOTT & HURLEY (1997)                               |
| <i>S. salar</i>   | Larven                    |                     |                 |                            |   | 0 - 12°C                          |                   |                                |  |  | GUNNES (1979)   |   |
| <i>S. salar</i>   | Larven                    |                     |                 |                            |   |                                   |                   |                                | 23°C (IULT)                            |  | VARLEY (1967)   |   |
| Lachs, Meerforelle                                      | Salmoniden allg.          | Adulte              |                 |                            |   |                                   |                   |                                | Sommermonate: längerfristig keine 20°C |  | ROSENTHAL & MUNRO (1985)                                    |   |
|   | Salmoniden allg.          | Adulte              |                 |                            | 0 - 5°C (da inaktiv)  | 7-19°C                            |                   | 20-24°C (Stress)               | 23,5 - 30°C                            |  | SCHRECKENBACH (2001)  |   |
|   | Salmoniden allg.          | Adulte              |                 |                            | 8 - 11°C  | 12 - 16°C                         |                   | 17 - 20°C                      |  |  | BAUR & RAPP (2003)  |   |
|   | Salmoniden allg.          | Adulte              |                 |                            |   |                                   |                   |                                |  | Bei max. 10-12°C findet die Umstellung auf das Salzwasser zum Abwandern statt. | BRUMUND-RÜTHER (1996)                                       |   |
| Salmoniden allg.  | Eier                      |                     |                 |                            | 0,5 - 12°C  |                                   |                   |                                |  | SCHRECKENBACH (2001)   |   |   |
| Meerforelle ( <i>Salmo trutta</i> forma <i>trutta</i> ) | <i>S.t. forma trutta</i>  | Adulte              |                 |                            |   | 12°C                              |                   |                                |  |  | SWIFT (1961), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)       |   |
|   | <i>S.t. forma trutta</i>  | Adulte              |                 |                            |   | 10°C                              |                   |                                |  |  | PENTELOW (1939), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)    |   |
|   | <i>S.t. forma trutta</i>  | Adulte              |                 |                            |   | 13°C                              |                   |                                |  |  | ELLIOTT (1976), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)     |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Adulte              |                 |                            |   | 7 - 19°C                          |                   |                                |  |  | FROST & BROWN (1967)  |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Adulte              |                 |                            |   | 7 - 17°C                          |                   |                                |  |  | MILLS (1971)  |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Adulte              |                 |                            |   |                                   |                   |                                | 25°C (IULT)                            |  | CHARLON (1969), entnommen aus: HAURY <i>et al.</i> (1999)   |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Adulte              | 2 - 4°C         |                            |   | 12 - 19°C                         |                   |                                | 23 - 26°C                              |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                 |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Eier                |                 |                            | 0°C (ILLT)  |                                   |                   |                                | 15,5°C (IULT)                          |  | HUMPESCH (1985)   |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Eier                |                 |                            | Temperaturbereich indem die Überlebensrate der Eier > 50% ist: 0 - 11°C |                                   |                   |                                |  |  |   | HUMPESCH (1985)                                       |
|   | <i>S.t. forma trutta</i>  | Juvenile            |                 |                            |   |                                   | 15,5°C            |                                |  |  | WINGFIELD (1940), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)   |   |
|   | <i>S.t. forma trutta</i>  | Juvenile            |                 |                            |   |                                   |                   | 17,6°C                         |  |  | FERGUSON (1958), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)    |   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg. | Juvenile, Smolts    |                 |                            |   | 3,6°C (bezogen auf das Wachstum)  | 13,1°C            |                                | 19,5°C (bezogen auf das Wachstum)      |  | ELLIOTT & HURLEY (1997)                                     |   |

| Gewässertemperatur [°C]                             |                       |               |   |                            |                                 |           |                   |                                |   |  |   |
|---|-----------------------|---------------|---|----------------------------|---------------------------------|-----------|-------------------|--------------------------------|---|--|---|
| Relevant für  | Grenzwertangaben für  | Altersstadium | Laichtemperatur   | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum   | Vorzugstemperatur | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich                   | Bemerkungen  | Literaturquelle   |
| Nordseeschnäpel<br>( <i>Coregonus oxyrhynchus</i> ) | <i>C. oxyrhynchus</i> | Adulte        | 5°C, 6°C bzw. 7°C   |                            |                                 |           |                   |                                |   |  | IKONEN (1982) und KLEIN-BRETELER (1983), entnommen aus: SCHEFFEL (1999) |
|   | Coregonen allg.       | Adulte        |   |                            |                                 |           |                   |                                | in Sommermonaten längerfristig nicht > 23°C |  | ROSENTHAL & MUNRO (1985)  |
|   | <i>C. lavaretus</i>   | Larven        |   |                            | 2°C                             |           |                   |                                | 26°C  |  | FLÜCHTER (1980)   |
| Quappe ( <i>Lota lota</i> )                         | <i>L. lota</i>        | Adulte        | 0,5 - 4,5°C   |                            |                                 |           |                   |                                |   |  | HOCHLEITNER (2002)  |
|   | <i>L. lota</i>        | Adulte        |   |                            |                                 |           | 10 - 12°C         |                                | 20 - 23°C                                   |  | HOCHLEITNER (2002)  |
|   | <i>L. lota</i>        | Adulte        | 3 - 6°C   |                            |                                 |           |                   |                                | 28 - 30°C                                   |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
|   | <i>L. lota</i>        | Eier          |   |                            |                                 | 0-4°C     |                   |                                | 12°C  | werden Extremwerte überschritten: Mortalität und Missbildungen bei der Ei- und Larvenentwicklung | ALABASTER & LLOYD (1980)  |
|   | <i>L. lota</i>        |               |   |                            |                                 |           |                   |                                |   | Klima des Verbreitungsgebietes 4 - 20°C  | FROESE & PAULY (2008)   |
|   | <i>L. lota</i>        |               |   |                            |                                 |           |                   |                                |   |  |   |
| Rapfen ( <i>Aspius aspius</i> )                     | <i>A. aspius</i>      | Adulte        | 9 - 17°C<br>(Temperaturwerte am häufigsten beobachtet und zugleich auch Extremwerte zum Ablachen) |                            |                                 |           |                   |                                |   | (Temperaturwerte am häufigsten beobachtet und zugleich auch Extremwerte zum Ablachen)            | ALABASTER & LLOYD (1980)  |
|   | <i>A. aspius</i>      | Adulte        | 5 - 8°C   |                            |                                 |           |                   |                                | 30°C  |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
|   | Cypriniden allg.      | Adulte        |   |                            | 0 - 10°C (da inaktiv)           | 18-28°C   |                   | 30 - 35°C (Stress)             | 32 - 40°C                                   |  | SCHRECKENBACH (2001)  |
|   | Cypriniden allg.      | Eier          |   |                            |                                 | 14 - 23°C |                   |                                |   |  | SCHRECKENBACH (2001)  |
|   | <i>A. aspius</i>      |               |   |                            |                                 |           |                   |                                |   | Klima des Verbreitungsgebietes 4 - 20°C  | FROESE & PAULY (2008)   |
| Stint ( <i>Osmerus eperlanus</i> )                  | <i>O. eperlanus</i>   | Adulte        | 4 - 12°C am häufigsten beobachtet; 0,5 - 12°C Extremwerte zum Ablachen                            |                            |                                 |           |                   |                                |   |  | ALABASTER & LLOYD (1980)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>   | Adulte        | 3 - 8°C   |                            |                                 |           |                   |                                | 30°C  |  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |

## Anhangstabelle Sauerstoff:

Sauerstoffpräferenzen und -grenzwerte mit den entsprechenden Literaturquellen, aufgelistet nach Fischart und Altersstadium und mit der Angabe, für welche Art bzw. Fischgruppe die Werte gemacht wurden.

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                                    |  |                          |  |                                 |                |   |                                |                           |   |  |
|--|--|--------------------------|--|---------------------------------|----------------|---|--------------------------------|---------------------------|---|--|
| Relevant für   | Grenzwertangaben für                     | Altersstadium            | unterer kritischer Bereich                       | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum        | Präferenz   | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich | Bemerkungen   | Literaturquelle                          |
| Atlantischer Hering ( <i>Clupea harengus</i> )             | <i>C. harengus</i>                       | Adulte                   | <50% Sauerstoffsättigung                         |                                 |                |   |                                |                           |   | NEUENFELDT (2002)                        |
| Atlantischer Stör ( <i>Acipenser sturio</i> )              | <i>A. sturio</i>                         | Adulte                   | 2,0 - 2,4 mg/l                                   |                                 |                |   |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)              |
|  | Störe allgemein                          | Adulte                   |  |                                 |                |   |                                |                           | "Bei einer Wassertemp. Von 21°C und Sauerstoffsättigung von 60% wachsen Störe um ca 20% schlechter und bei O2-Sättigung von 48% (ca 5,3mg/l) um 40% schlechter als bei 100% Sättigung" - Aquakultur | HOCHLEITNER (1996)                       |
|  | Störe allgemein                          | Adulte                   | Lethale Sauerstoffsättigung : < 20% (wenn >20°C) |                                 |                |   |                                |                           | In der Aquakultur beobachtet.   | HOCHLEITNER (1996)                       |
|  | Störe allgemein<br>Störe und Störhybride |                          |  | < 6mg/l<br>6,0 mg/l             |                |   |                                |                           |   | de GROOT (2002)<br>BOHL (1999)           |
| Dreistachliger Stichling ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> ) | <i>G. aculeatus</i>                      | Adulte                   | 2,0 mg/l   |                                 | 4,0 - 6,0      |   |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)              |
| Europäischer Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> )              | Aal allg.                                | Adulte                   | 0,4 - 0,8 mg/l                                   |                                 | 2,0 - 4,0 mg/l |   |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)              |
|  | Aal allg.                                | Adulte                   |  |                                 |                |   |                                |                           | untere noch tragbare Grenze: 2,5mg/l bei 21°C   | HILL (1969)                              |
|  | Aal allg.                                | Adulte                   | 2,8 mg/l bzw. 29 - 35%                           |                                 |                |   |                                |                           | bei Wassertemp. von 16-27°C   | SCHÄPERCLAUS (1990)                      |
|  | <i>A. anguilla</i><br><i>A. anguilla</i> | Glasaale                 | 2,0 mg/l   |                                 |                |   | 1,2 - 3,0 mg/l                 |                           | Sauerstoffbedarf bei 15 °C  | GRITZKE (1980)<br>MÖLLER & SCHOLZ (1991) |
|  | Aal allg.                                |                          |  |                                 |                |   |                                |                           | Mindestsauerstoffbedarf 4mg/l   | COLAS (1988)                             |
| Finte ( <i>Alosa fallax</i> )                              | <i>A. fallax</i>                         | Junglarven (7,1-17,2mm)  |  |                                 |                | 10,1 - 13,3 mg/l  |                                |                           |   | GERKENS & THIEL (2001)                   |
|  | <i>A. fallax</i>                         | Juvenile (0)             |  |                                 |                | 4,0 - 5,0 mg/l  |                                |                           |   | MÖLLER & SCHOLZ (1991)                   |
|  | <i>A. fallax</i>                         | Spätlarven (15,4-29,1mm) |  |                                 |                | hauptsächlich 4,8 - 7,0 mg/l, teilweise auch 10,1 - 13,3 mg/l |                                |                           |   | GERKENS & THIEL (2001)                   |
| Flunder ( <i>Platyichthys flesus</i> )                     | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | 2,0 mg/l   |                                 | 5,0 - 6,0      |   |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)              |
|  | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | LC10-6h 3,5 bzw. 1,2 mg/l                        |                                 |                |   |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)           |
|  | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | LC50-6h 2,15 bzw. 0,90 mg/l                      |                                 |                |   |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)           |
|  | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | LC90-6h 1,2 bzw. 0,7 mg/l                        |                                 |                |   |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)           |
|  | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | LC10-24h 3,8 bzw. 1,9 mg/l                       |                                 |                |   |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)           |
|  | <i>P. flesus</i>                         | Adulte                   | LC50-24h 2,8 bzw. 1,1 mg/l                       |                                 |                |   |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)           |

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                       |                       |                          |  |                                 |           |                |                                |                           |  |  |
|---|-----------------------|--------------------------|--|---------------------------------|-----------|----------------|--------------------------------|---------------------------|--|--|
| Relevant für                                  | Grenzwertangaben für  | Altersstadium            | unterer kritischer Bereich   | unterer eingeschränkter Bereich | Optimum   | Präferenz      | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich | Bemerkungen                                    | Literaturquelle  |
| Flunder ( <i>Platyichthys flesus</i> )        | <i>P. flesus</i>      | Adulte                   | LC90-24h 1,5 bzw. 0,9 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 |  |                                 |           | 4,0 - 5,0 mg/l |                                |                           |  | MÖLLER & SCHOLZ (1991)                                       |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC10-6h 1,2 bzw. 0,95 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC50-6h 1,0 bzw. 0,80 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC90-6h 0,9 bzw. 0,6 mg/l  |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC10-24h 2,5 bzw. 1,9 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC50-24h 1,4 bzw. 1,25 mg/l  |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 | LC90-24h 1,0 bzw. 0,9 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>P. flesus</i>      | Juvenile                 |  |                                 |           |                | ≥ 3,1 mg/l                     |                           | Konzentration die vermieden wird: < 1,4mg/l    | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
| Flussneunauge ( <i>Lampreta fluviatilis</i> ) | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte                   | Lethale Sauerstoff-Sättigung: 7,5 % (Tod nach 5-8h); CLMin: 9,5% (konnte über 96h ausgehalten werden, es traten aber Verhaltensänderungen ein) |                                 |           |                |                                |                           |  | CLARIDGE & POTTER (1975)                                     |
|   | <i>L. fluviatilis</i> | Adulte                   | 0,5 - 1,0 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C                     | WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                  |
| Atlantischer Lachs ( <i>Salmo salar</i> )     | <i>S. salar</i>       | Adulte                   | 5,0 mg/l   |                                 | 9,0 mg/l  |                |                                |                           |  | ALABASTER & LLOYD (1980)                                     |
|   | <i>S. salar</i>       | Adulte                   | 3,1 - 3,7  |                                 | 7,0 - 9,0 |                |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C                     | WOLTER <i>et al.</i> (2003)                                  |
|   | <i>S. salar</i>       | Eier kurz vorm Schlüpfen | zwischen 4,1 mg/l bei 5°C und 7,0 mg/l bei 17°C  |                                 |           |                |                                |                           | Sauerstoff-Bedingungen innerhalb der Kiessohle | DAVIS (1975), entnommen aus: CRISP (2000)                    |
|   | <i>S. salar</i>       | frühe Eistadien          | zwischen 0,5 mg/l bei 5,5°C und 2,2 mg/l bei 10°C  |                                 |           |                |                                |                           | Sauerstoff-Bedingungen innerhalb der Kiessohle | DAVIS (1975), entnommen aus: CRISP (2000)                    |
|   | <i>S. salar</i>       | Juvenile allg.           | 1,9 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           |  | PRIVOLVNEV (1954), entnommen aus: DOUDOROFF & SHUMWAY (1970) |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | 3,3 mg/l LC50  |                                 |           |                |                                |                           | in Süßwasser, bei Temp. von 11°C               | ALABASTER <i>et al.</i> (1979)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | 2,6 mg/l LC50  |                                 |           |                |                                |                           | in Saltwasser (10-28‰), bei Temp. von 11°C     | ALABASTER <i>et al.</i> (1979)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC10-6h 2,28 mg/l  |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC50-6h 2,0 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC90-6h 1,8 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC10-24h 2,4 mg/l  |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC50-24h 2,12 mg/l   |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |
|   | <i>S. salar</i>       | Smolt                    | LC90-24h 2,0 mg/l  |                                 |           |                |                                |                           | Laborwert                                      | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)                               |

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                                 |                                 |                   |   |  |                 |                 |                                |   |   |   |
|---|---------------------------------|-------------------|---|--|-----------------|-----------------|--------------------------------|---|---|---|
| Relevant für  | Grenzwertangaben für            | Altersstadium     | unterer kritischer Bereich  | unterer eingeschränkter Bereich                        | Optimum         | Präferenz       | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich                         | Bemerkungen   | Literaturquelle   |
| Lachs, Meerforelle                                      | Salmoniden allg.                | Adulte            | Jährliche 50%Perzentile der O2-Konz sollte >=5mg/l, die jährliche 5%Perzentile der O2-Konz >=2mg/l sein   |  |                 |                 |                                |   |   | ALABASTER & LLOYD (1980)  |
|   | Salmoniden allg.                | Adulte            | < 4,0 mg/l  | 6,0 - 6,9 mg/l   | 7,0 - 30,0 mg/l |                 | 31,0 - 35,0 mg/l               | < 40,0 mg/l                                       | Unterhalb des kritischen Minimums: akuter Sauerstoffmangel, was zu Unruhe, Nahrungsverweigerung, Masseverluste und Notatmung führt. | SCHRECKENBACH (2002)  |
|   | Salmoniden allg.                | Juvenile, Smolts  | Jährliche 50%Perzentile der O2-Konz sollte >= 9mg/l, die jährliche 5%Perzentile der O2-Konz >= 5mg/l sein |  |                 |                 |                                |   |   | ALABASTER & LLOYD (1980)  |
|   | Salmoniden allg.                |                   |   | 6,0 - 6,9 mg/l   |                 | 7,0 - 30,0 mg/l |                                | 31,0 - 35,0 mg/l                                  |   | BAUR & RAPP (2003)  |
| Meerforelle ( <i>Salmo trutta</i> forma <i>trutta</i> ) | Forellen allg.                  | Adulte            | 4,0mg/l   | 5,0 mg/l im Sommer                                     | 8mg/l           |                 |                                |   | 4mg/l erzeugt Atemnot, 3mg/l wirken langsam und 2mg/l schnell tödlich   | AMLACHER (1986)   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            |   | 5,0 und 5,5 mg/l (Minimum Sauerstoffsättigung bei 80%) |                 |                 |                                |   |   | MILLS (1971)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | 2,3 - 2,8   |  | 7,0 - 9,0       |                 |                                |   | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC10-6h 3,2 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC50-6h 3,1 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC90-6h 2,4 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC10-24h 3,35 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC50-24h 3,25 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            | LC90-24h 2,95 mg/l  |  |                 |                 |                                |   | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Adulte            |   |  |                 |                 | ≥ 5,25 mg/l                    |   | Konzentration die vermieden wird: < 5,25mg/l  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>S.t.</i> forma <i>trutta</i> | Juvenile          |   |  |                 |                 |                                |   | Eine 200%ige Sättigung (ca 20mg/l bei 16°C) hat die Wachstumsleistung bei Juvenilen (+1) nicht beeinträchtigt.                      | SWIFT (1963), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)                 |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Juvenile          | 1,6 - 2,8°C *   |  |                 |                 |                                |   | * Auftreten der ersten Todesfälle, bei Temp. Von 9 - 21°C   | BURDICK <i>et al.</i> (1954), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985) |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.       | Juvenile          | 1,5 - 2,5°C LC50  |  |                 |                 |                                |   | * 50%ige Mortalitätsrate, bei Temp. Von 9 - 21°C  | BURDICK <i>et al.</i> (1954), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985) |
| <i>Salmo trutta</i> allg.                               | Juvenile                        | 1,3 - 2,3°C LC100 |   |  |                 |                 |                                | * 100%ige Mortalitätsrate, bei Temp. Von 9 - 21°C | BURDICK <i>et al.</i> (1954), entnommen aus: ROSENTHAL & MUNRO (1985)   |   |

| Sauerstoffbedarf [mg/l]                                 |                                      |                             |                            |  |                 |                  |                                |                           |   |   |
|---|--------------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|-----------------|------------------|--------------------------------|---------------------------|---|---|
| Relevant für  | Grenzwertangaben für                 | Altersstadium               | unterer kritischer Bereich | unterer eingeschränkter Bereich                        | Optimum         | Präferenz        | oberer eingeschränkter Bereich | oberer kritischer Bereich | Bemerkungen   | Literaturquelle   |
| Meerforelle ( <i>Salmo trutta</i> forma <i>trutta</i> ) | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC10-6h 2,1 mg/l           |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC50-6h 1,6 mg/l           |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC90-6h 1,12 mg/l          |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC10-24h 1,92 mg/l         |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC50-24h 1,6 mg/l          |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            | Larven                      | LC90-24h 1,3 mg/l          |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | Forellen allg.                       |                             |                            |  |                 | > 10,0 mg/l      |                                |                           |   | BAUR (1998)   |
|   | <i>Salmo trutta</i> allg.            |                             |                            | 1,13mg/l   |                 |                  |                                |                           | bei 6,4°C   | ERICHSON JONES (1964)   |
| <i>Salmo trutta</i> allg.                               |                                      |                             | 2,8mg/l                    |  |                 |                  |                                | bei 24°C                  | ERICHSON JONES (1964)   |   |
| Nordseeschnäpel ( <i>Coregonus oxyrinchus</i> )         | <i>C. lavaretus</i>                  | Eier (im Augenpunktstadium) |                            | 8mg/l von Mitte Januar an (bei 5°C = 65% O2-Sättigung) |                 |                  |                                |                           |   | FLÜCHTER (1980)   |
| Quappe ( <i>Lota lota</i> )                             | <i>L. lota</i>                       | Adulte                      |                            |  | 7,0 - 10,0 mg/l |                  |                                |                           |   | HOLČIK <i>et al.</i> (1989)   |
|   | <i>L. lota</i>                       | Adulte                      | 5,0 - 7,0 mg/l             |  |                 |                  |                                |                           |   | HOCHLEITNER (2002)  |
|   | <i>L. lota</i>                       | Adulte                      | 1,4 - 2,0 mg/l             |  | 7,0 - 9,0 mg/l  |                  |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
|   | <i>L. lota</i>                       | Adulte                      | < 2,0 mg/l                 | LC100  |                 |                  |                                |                           | * 100%ige Mortalitätsrate, bei Temp. Von 12-18°C,   | BLACK <i>et al.</i> (1954), entnommen aus: DOUDOROFF & SHUMWAY (1970) |
|   | <i>L. lota</i>                       |                             | 1,4 - 3,2 mg/l             |  |                 |                  |                                |                           | * wo erste Todesfälle verzeichnet wurden, bei Temp. Von 0°C   | PRIVOLVNEV (1954), entnommen aus: DOUDOROFF & SHUMWAY (1970)          |
| Rapfen ( <i>Aspius aspius</i> )                         | <i>A. aspius</i>                     | Adulte                      | 2,0 mg/l                   |  | 7,0 - 8,0 mg/l  |                  |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
| Stint ( <i>Osmerus eperlanus</i> )                      | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte                      | 1,5 mg/l                   |  | 7,0 - 8,0 mg/l  |                  |                                |                           | Sauerstoffbedarf bei 20 °C  | WOLTER <i>et al.</i> (2003)   |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte                      |                            |  |                 | 6,0 - 7,3 mg/l   |                                |                           |   | MÖLLER & SCHOLZ (1991)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte                      |                            |  |                 | ≥ 3,1 mg/l       |                                |                           | Konzentration die vermieden wird: < 3,1mg/l   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte/Juvenile             | LC50-6h 1,5 bzw. 1,2 mg/l  |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte/Juvenile             | LC90-6h 1,4 bzw. 0,8 mg/l  |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte/Juvenile             | LC10-24h 2,9 bzw. 2,6 mg/l |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte/Juvenile             | LC50-24h 1,6 bzw. 1,5 mg/l |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Adulte/Juvenile             | LC90-24h 1,3 bzw. 0,7 mg/l |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Juvenile                    |                            |  |                 | 6,0 - 6,5 mg/l   |                                |                           |   | MÖLLER & SCHOLZ (1991)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | Juvenile                    |                            |  |                 | ≥ 3,6 mg/l       |                                |                           | Konzentration die vermieden wird: < 3,6mg/l   | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
|   | <i>O. eperlanus</i>                  | alle Altersstadien          | LC10-6h 1,8 bzw. 1,4 mg/l  |  |                 |                  |                                |                           | Laborwert bzw. Wert aus Freilanduntersuchung  | TURNPENNY <i>et al.</i> (2004)  |
| Aal, Rapfen, Atl. Stör                                  | Karpfen-, Stör-, Aal- und Welsartige | Adulte                      | 3,0 mg/l                   | 4,0 - 4,9 mg/l   | 5,0 - 30,0 mg/l | 31,0 - 35,0 mg/l | <40,0 mg/l                     | 3,0 mg/l                  | Unterhalb des kritischen Minimums: akuter Sauerstoffmangel, was zu Unruhe, Nahrungsverweigerung, Masseverluste und Notatmung führt. | SCHRECKENBACH (2002)  |