

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Parasitismus und Fischparasitosen

Der Parasitismus ist ein entwicklungsgeschichtlich überaus altes und erfolgreiches Prinzip der Biologie. Die parasitische Lebensweise, definiert als Gedeihen zum Schaden eines Anderen, ohne den solcherart ausgenutzten Organismus direkt zu töten (ZANDER 1998), scheint so vorteilhaft für die schmarotzende Lebensform zu sein, dass die Mehrzahl aller auf unserem Planeten lebenden Spezies diesem Prinzip Folge leistet (WINDSOR 1998). Einige Tierklassen (z.B. Monogenea, Acanthocephala, Cestoda) haben sich im Laufe ihrer Entwicklungsgeschichte so auf diese Lebensweise spezialisiert, dass unter den Vertretern dieser Klassen bislang kein nichtparasitisch lebender Organismus bekannt ist.

Augenfällige Vorteile bieten sich für einen Parasiten, der auf oder in einem Wirtorganismus lebt, zunächst aufgrund des überreichen Nahrungsangebotes. Der Parasit kann im Gegensatz zum Raubtier, welches seine Opfer aufspüren und im Anschluss greifen und töten muss, auf das kräftezehrende und wiederholte Beutemachen verzichten. Hat er einmal einen Wirt, oftmals ohne von diesem bemerkt zu werden, befallen, so ist Nahrung immer gegenwärtig und kann mit geringstem Energieaufwand aufgenommen werden. Da der Parasit in der überwiegenden Anzahl der Fälle kleiner ist als sein Wirt und von diesem nicht als Gefahr wahrgenommen wird (ZANDER 1998), treten bei Annäherung des Parasiten an sein Opfer gewöhnlich keine Abwehr- oder Fluchtreaktionen auf, die im Falle des Raubtieres ein Beutemachen oftmals erschweren und taktisches Geschick, große Körperkraft und vermehrten Energieaufwand von Seiten des Parasiten notwendig machen würden. Im Falle des Endoparasitismus muss der Wirt neben seiner Funktion als Nahrungsquelle als Mikrohabitat gesehen werden, welches einen stabilen und schützenden Lebensraum bietet, in dem der Schmarotzer vor äußeren Einflüssen wie Wetterwechsel, Temperaturschwankungen, Austrocknung, Fressfeinden etc. relativ geschützt ist.

Weiterhin bietet der Parasitismus deutliche Vorteile im Rahmen der Fortpflanzung und Ausbreitung. Da eine angetroffene „Beute“ nicht sofort getötet wird, können auch nachfolgende Generationen eines Parasiten vom selben Opfer nutzen. Besonders deutlich wird dies bei homoxenen Schmarotzern wie beispielsweise dem le-

bendgebärendem Hautsaugwurm *Gyrodactylus*, der sich von Schleimhautzellen der Körper- und Kiemenoberflächen seiner Wirtsfische ernährt und dessen Übertragung auf andere Fische fast ausschließlich durch einen direkten Hautkontakt ermöglicht wird. Da im Lebenszyklus dieses Parasiten kein Zwischenwirt benötigt wird, können an einem Wirtsfisch parallel zum ursprünglichen Muttertier oftmals sieben bis zehn Folgegenerationen angetroffen werden (SCHÄPERCLAUS 1990).

Des Weiteren wird das für eine geschlechtliche Vermehrung notwendige Auffinden eines Paarungspartners in oder auf einem Wirt stark vereinfacht, da bereits ein verhältnismäßig kleines Gebiet eine starke Häufung an in Frage kommenden Partnern aufweist und mit hohen Erfolgsaussichten abgesucht werden kann. Gleichzeitig dient der befallene Wirt als „Carrier“ der parasitären Infektion, die entsprechend der Ortswechsel des Wirtes über größere Distanzen Verbreitung finden kann, als es dem Parasiten selbst möglich wäre. Interessante Beispiele hierfür finden sich bei in Fischen lebenden Parasitenarten, welche durch Vögel (und in geringerem Maße durch Säugetiere) überaus effektiv verbreitet und demzufolge in vielen Gewässern nachgewiesen werden können. ESCH et al. (1988) konnten im Vergleich mehrerer Süßwasserseen in England belegen, dass *Diplostomum spathaceum*, ein im Metazerkarien-Stadium in Augenlinsen vieler Fischarten schmarotzender Trematode (Saugwurm), durch seine Endwirte (Möwen und Seeschwalben) hervorragende Möglichkeiten zur Besiedlung neuer Biotope findet und eine dominierende Stellung in der Zusammensetzung der untersuchten Parasitengemeinschaften innehat. Entsprechend des großen Verbreitungspotenzials von Vögeln und Säugern ist ihre Parasiten-Artenvielfalt ungemein hoch, da viele Parasiten diese Wirte zum eigenen Vorteil in ihre Lebenszyklen integriert haben. Während beispielsweise die Mehrzahl der Wirtsfische nur ein bis drei Helminthenarten in geringer Intensität beherbergt, lassen sich in Vögel- und Säugerendwirten oftmals zehn bis 20 Schmarotzerspezies in Intensitäten von über 20.000 Individuen nachweisen (KENNEDY et al. 1986).

Viele Parasiten haben ihre Fortpflanzungsstrategien so stark an die Bedingungen des Wirtes angepasst, dass sie den Wirt nur noch zum Zwecke der Ausbreitung verlassen. Alle anderen Lebensabschnitte wie Wachstum, Geschlechtsreife, Paarung, Eiablage o.ä. werden über mehrere parasitäre Generationen hinweg in oder auf einem einzigen Wirtsorganismus vollzogen. Ein geeignetes Beispiel ist der Entwicklungszyklus vieler Coccidien-Arten. Nach Eindringen dieses einzelligen Parasiten in eine Zelle des Wirtstieres wächst der Protozoe auf ein Vielfaches seiner ursprüngli-

chen Körpergröße heran und zerfällt sodann in zahlreiche Tochterparasiten (Schizonten), welche erneut in weitere Zellen des Wirtes eindringen und sich dort wie beschrieben ungeschlechtlich vermehren. Nur zum Zwecke der Ausbreitung werden im Anschluss an eine geschlechtliche Differenzierung und Befruchtung Oozysten gebildet, die über den Magen-Darm-Trakt des Wirtes ausgeschieden werden. Die enthaltenen Dauerstadien (Sporozoiten) warten sodann durch die Oozystenhülle geschützt in der Umwelt auf die Aufnahme durch einen neuen Wirt (SCHÄPERCLAUS 1990).

Im Vergleich zu einer bakteriellen Infektion, die in eine Kontakt-, eine Invasions- und eine nachfolgende Vermehrungsphase zu untergliedern ist (ZETKIN-SCHALDACH 1976), weisen Parasiten mit heteroxenen Lebenszyklen nicht in jedem befallenen Wirtsorganismus eine durch Vermehrung gekennzeichnete Entwicklungsphase auf. Entsprechend ist der Begriff „Infektion“ in Bezug zu diesen Parasiten genaugenommen nur eingeschränkt verwendbar. Es soll hier einmalig darauf hingewiesen werden, dass aufgrund des Umstandes der vielfach ausbleibenden Vermehrung in Zwischenwirten für diese Phasen des Lebenszyklus korrekterweise die Verwendung des Begriffs der parasitären „Invasion“ angebracht wäre, da der betreffende Parasit zwar in den jeweiligen Wirtsorganismus eindringt, sich im Anschluss jedoch nicht vermehrt, sondern sich in diesem Wirt lediglich zur Infektionsreife weiterentwickelt oder als bloßes Dauerstadium der Vollendung seines Lebenszyklus harrt. Da jedoch bei Betrachtung des gesamten Lebenszyklus fraglicher Parasiten immer auch eine in folgenden Wirten stattfindende Vermehrungsphase zu beobachten ist und alle am Lebenszyklus des Parasiten beteiligten Wirte dem eigentlichen Zwecke der Reproduktion und Arterhaltung des Schmarotzers dienen, soll im Folgenden uneingeschränkt der Begriff der parasitären Infektion verwendet werden, auch wenn in einigen Wirtskategorien keine eigentliche Vermehrung stattfindet.

Parasiten sind, wie alle anderen Lebewesen, regulärer Bestandteil der Biozönose eines Ökosystems. Sie sind in der Lage, nach einer Adaptationsphase an oder in ihren Endwirten weitgehend unbemerkt zu leben. Krankheiten, die auf heteroxene Parasiten zurückzuführen sind, beruhen häufig auf einer Schädigung von Zwischenwirten. Diese ist für die Übertragung der Infektion auf den nächsten Wirt oftmals von entscheidender Bedeutung, da der geschwächte Zwischenwirt vom entsprechenden Endwirt leichter erbeutet werden kann. Derartige Schädigungen werden vom Parasi-

ten, beispielsweise durch Beeinträchtigung lebenswichtiger Organkomplexe (ZNS, Leber o.ä.), je nach Parasitenart in oftmals charakteristischer Weise erreicht.

Ungezielte und für die Vollendung des parasitären Zyklus nicht zwingend benötigte Schädigungen von Zwischen- und Endwirten beruhen hingegen häufig auf einer Imbalance im Spiel zwischen Wirt und Parasit, verursacht durch belebte und unbelebte Variablen des Umfeldes (WILLIAMS & JONES 1994). Beispielsweise sind Wirte schlechter körperlicher Verfassung oder geringer Körpergröße nur beschränkt zur immunologischen Kontrolle einer parasitären Infektion fähig, da benötigte Energiereerven fehlen. Auch ein durch äußere Umstände (z.B. hohe Temperaturen, hohe Abundanz an Zwischenwirten, kurze Übertragungswege) bedingtes gehäuftes Auftreten eines Parasiten endet für empfindliche Wirte mitunter tödlich. Ebenso ist eine erstmalig auftretende Parasitose für unvorbereitete Wirte häufig letal. Beispiele hierfür finden sich bei der Verschleppung von Parasitenarten, die im neuen Lebensraum auf Wirte treffen, die noch nie zuvor eine Exposition mit dem entsprechenden Erreger erfahren haben und zunächst hochempfindlich für die Parasitose sind. Während beispielsweise heimische Cestoden neben einem geringgradigen Nährstoffentzug oftmals kaum pathogene Wirkungen auf ihre Endwirte haben, verursacht bereits ein moderater Befall mit dem aus China eingeschleppten Bandwurm *Khawia sinensis* deutliche Schädigungen im Magen-Darm-Trakt infizierter europäischer Karpfen (*C. carpio*). Angetroffene Veränderungen reichen von Darmverlegungen über schwere katarrhalisch-hämorrhagische Darmentzündungen bis zu toxinbedingten Hepatopathien, die mitunter zu hohen Mortalitätsraten führen (SCHÄPERCLAUS 1990). Ähnliches gilt auch für den Schwimmblasennematoden *Anguillicola crassus*, der erstmals Mitte der 1980er Jahre in Deutschland beschrieben wurde (siehe auch 2.4). Im Vergleich zum japanischen Aal (*A. japonica*) hat *A. crassus* ungleich stärkere pathogene Wirkung auf europäische (*A. anguilla*) und amerikanische Aale (*A. rostrata*), da diese im Gegensatz zum japanischen Aal bislang keinen Kontakt mit diesem Parasiten hatten und eine entsprechende Selektion nicht stattfinden konnte (OOI et al. 1996).

Fische dienen als hochentwickelte Tiere häufig als Wirte aquatischer Parasiten (KÖRTING 1992). Durch Parasitosen bedingte Leistungsdepressionen, pathologische Veränderungen und Fischsterben sind in der wissenschaftlichen Literatur häufig beschrieben worden. Während beispielsweise gezeigt werden konnte, dass ein Vor-

handensein von *Diplostomum*-Metazerkarien in den Augenlinsen von Regenbogenforellen bereits bei geringen Dichten für einen Rückgang der Wachstumsgeschwindigkeit verantwortlich zu machen ist, ohne Mortalitäten unter den befallenen Fischen auszulösen (BUCHMANN & ULDAL 1994), können durch die Körperwanderung von Vertretern der *Ichthyocotylurus*-Arten je nach Fischgröße und Befallsintensität Blutungen, Schwimmstörungen, Verlust des Gleichgewichtes und akute Todesfälle bei infizierten Zandern, Barschen und Kaulbarschen ausgelöst werden (MATTHEIS & ODENING 1980). Auch nach Erreichen des Zielorgans (hier v.a. Herz und Herzbeutel) wird in diesem Falle ein durch Verdrängung funktionellen Gewebes verursachtes Massensterben bei empfänglichen Fischarten diskutiert. Ein alljährlich wiederkehrendes Fischsterben unter Kaulbarschen ließ sich zweifelsfrei auf das gehäufte Auftreten von *Diplostomum*-Larven zurückführen, deren Wanderung neben der Zerstörung der Augen vor allem durch ein Aufsuchen des Gehirns der befallenen Fische die beschriebenen Mortalitäten auslöste (SZIDAT 1927; CORNELIUS 1935).

Während unter natürlichen Bedingungen Parasitosen mit solch schwerwiegenden Folgen Ausnahmen bleiben dürften, finden viele Parasitenarten unter anthropogen veränderten Bedingungen optimale Vermehrungsbedingungen vor. Es sind damit Voraussetzungen geschaffen, die das Risiko für ein Auftreten von durch Parasiten verursachten Krankheiten erheblich erhöhen.

## **2.2 Zukünftige Entwicklung von Fischerei und Aquakultur**

Durch die zunehmende Überfischung der marinen Fischbestände und des gleichzeitigen Wachstums der Weltbevölkerung (Schätzungen zufolge wird diese bis zum Jahr 2050 auf 10 Milliarden Menschen ansteigen (ANONYM 1 1996, 1998)) werden die Kapazitäten der Meere als Eiweißlieferanten in naher Zukunft erschöpft oder aufgrund des zu betreibenden Mehraufwands nicht mehr ökonomisch nutzbar sein. Bereits seit 1995 stagniert die weltweite jährliche Fangmenge bei ca. 80 Mio. t (ANONYM 2 2003). Es ist davon auszugehen, dass das bisherige Ausbleiben eines rapiden Zusammenbruchs der Fangmengen zu großen Teilen der vermehrten Hinwendung zu bislang fischereilich uninteressanten Fischarten sowie der Intensivierung der Fangbemühungen, beispielsweise durch Verwendung kleinerer Maschenweiten, zu verdanken ist. Viele bislang genutzte Fischbestände sind nachweislich bereits soweit dezimiert, dass sie unter dem für eine ausreichende Reproduktion unerlässlichen Minimum liegen (ANONYM 3 2002) und sich auch durch das Aussprechen eines ab-

soluten Fangverbotes nicht mehr stabilisieren lassen werden. Da die Überkapazitäten der weltweiten Fangflotten aufgrund sozialer und politischer Zwänge weitgehend erhalten werden, scheint sich eine Besserung der Situation nicht abzuzeichnen.

Es gilt als gesichert, dass der bei einer Stagnation der Meeresfischerei unbefriedigte Bedarf an Frischfisch durch eine verstärkte Befischung der Süßwasserbestände nicht annähernd gedeckt werden kann: Exemplarisch stehen den im Jahre 2000 deutschlandweit durch große und kleine Hochsee- und Küstenfischerei angelandeten 217.000 Tonnen Fisch ein mit 34.000 Tonnen unbedeutender Fang der Binnenfischerei gegenüber (ANONYM 3 2002). Es ist offensichtlich, dass die Binnenfischerei selbst bei drastischer Erhöhung der Fangbestrebungen keinen vollwertigen Ersatz für das zu erwartende Einbrechen der Fangmengen der Meeresfischerei darstellen kann, zumal auch hier nicht die Menge der eingesetzten Arbeitskräfte, sondern, wie im Falle der Meeresfischerei, die Reproduktionsfähigkeit der befischten Fischarten den begrenzenden Faktor darstellt und dieser kaum beeinflusst werden kann.

Im Gegensatz zur traditionellen Nutzung natürlicher Süßwasserbestände durch die Binnenfischerei scheint die Aquakultur eine sinnvolle Alternative zur kostenoptimierten Erwirtschaftung hochwertiger Proteine darzustellen. Eine Produktion von Speisefischen unter Intensivbedingungen ist in hohem Maße dazu geeignet, auf kleinstem Raum große Mengen an qualitativ hochwertigem Eiweiß zu erwirtschaften. Die 1993 erreichte weltweite Produktionsmenge der Aquakultur von 15 Mio. t ist bis zum Jahre 2001 bereits auf 38 Mio. t angestiegen (ANONYM 2, 2003) und ließe sich auf mindestens 60 Mio. t erhöhen (HEMPEL 1993). Die Zucht von Nutzfischen unter Aquakulturbedingungen wird voraussichtlich auch im mitteleuropäischen Raum in den nächsten Jahrzehnten weiterhin stark an Bedeutung gewinnen.

Im Vergleich zur Fleischproduktion durch Mästung von Säugetieren oder Vögeln ist die Menge der zur Aufzucht der gehaltenen Nutztiere einzusetzenden Futtermittel in der Aquakultur gering. Fische sind aufgrund ihrer Poikilothermie ausgezeichnete Futterverwerter, da sie keinerlei Energie zur Erhaltung ihrer Körpertemperatur verbrauchen (STEFFENS 1985). Während in der Schweinemast oft mehrere Kilogramm Futter zur Produktion eines Kilogramms Schweinefleisch aufgewandt werden müssen, erreichen Fische beim Einsatz moderner Futtermittel oftmals Massenzuwächse, die über der Masse des aufgenommenen Futters liegen. Der errechnete Futterquotient liegt somit aufgrund der ausgezeichneten Futterverwertung oftmals unter 1,0

(SCHRECKENBACH & WEDEKIND 1995). Des Weiteren kann zur Fischmast auf Ressourcen zurückgegriffen werden, die in der menschlichen Ernährung keine Verwendung finden (wie z.B. Wasserschnecken, Kleinkrebse, Insektenlarven). Dies stellt einen nicht zu unterschätzenden Vorteil gegenüber der in der Schweineproduktion gängigen und kritisch zu beurteilenden Verfütterung von für den Menschen geeigneten Nahrungsmitteln wie Weizen, Mais o.ä. dar. Insgesamt bietet die Aquakultur eine nachhaltige und effektive Möglichkeit zur Deckung des weltweit steigenden Eiweißbedarfs.

### **2.3 Parasitosen als Problemfaktor der Aquakultur in eutrophen Gewässern**

Fischpathogene Parasiten finden unter Aquakulturbedingungen häufig verbesserte Möglichkeiten zur Reproduktion vor (REICHENBACH-KLINKE 1975).

Ein grundlegender Unterschied zur extensiven Speisefischproduktion ist, dass die benötigten Wirtstiere konzentriert auf engstem Raum leben; das Auffinden eines Wirtsorganismus ist dem Parasiten demnach stark vereinfacht. Der häufige Körperkontakt intensiv gehaltener Fische begünstigt zudem, insbesondere bei einwirtigen Schmarotzerarten, eine horizontale Übertragung und entsprechend potenzierte Intensitäten. Bei der Aufzucht von Karpfenbrut stellt eine sommerliche Infektion mit homoxenen Saugwürmern, insbesondere mit *Dactylogyrus vastator*, bezeichnenderweise die gefürchtetste aller Jungkarpfenkrankheiten dar (SCHÄPERCLAUS 1990).

Eine Vielzahl von als Zwischenwirt geeigneten Mollusken nutzt die bei intensiven Produktionsbedingungen anfallenden großen Mengen an organischen Abprodukten als Nahrungsquelle. Sie können daher im engen räumlichen Bezug zu Aquakulturanlagen in erhöhtem Maße angetroffen werden, was wiederum zur vereinfachten Vervollendung parasitärer Lebenszyklen beitragen mag (ZANDER 1998).

Die Haltung von Nutzfischen auf engstem Raum unter Intensivbedingungen resultiert im Vergleich zur Haltung von Säugetieren kaum in Technopathien und wird von den Tieren in der Regel gut vertragen. Oftmals sind hohe Besatzdichten sogar von Vorteil für die Fische, da sie als Schwarmtiere den engen Bezug zu Artgenossen suchen und als physiologisch und stressreduzierend empfinden. Leider können aufgrund der lokalen Konzentration von Zuchtfischen und den damit verbundenen hohen Ausscheidungsmengen optimale Wasserparameter, insbesondere niedrige Stickstoffbelastungen, oftmals nicht über die gesamte Produktionsperiode gehalten werden. Die

Mehrheit der Fische zeigt im Falle suboptimaler Lebensbedingungen erhöhte Kortisonspiegel und dadurch bedingte reduzierte Abwehrbereitschaft gegen Parasiten und andere Noxen, was einer Ausbreitung dieser Krankheitserreger dienlich ist (WENDELAAR BONGA 1997).

Vorbeugende Impfungen, insbesondere gegen Parasiten, sind bei Fischen aufgrund der geringen spezifischen Abwehrfähigkeit des Immunsystems kaum oder nur mit hohem finanziellen Aufwand möglich. Fische beantworten Infektionen aufgrund ihres phylogenetisch primitiven Immunsystems im Gegensatz zu Säugetieren hauptsächlich mit Hilfe umfassender unspezifischer Abwehrmechanismen. Bislang konnte bei Fischen mit einem tetra- bzw. hexametrischen IgM nur ein primitiver Antikörpertyp nachgewiesen werden, der zudem hauptsächlich auf Schleimhäuten lokalisiert und aufgrund seiner Größe kaum in der Lage ist, effektiv in infiziertes Gewebe einzudringen. Die ausgelösten spezifischen Immunkompetenzen sind im Vergleich zu Säugetieren oftmals von kurzer Dauer, so dass eine auffrischende Vakzinierung mehrmals jährlich erfolgen müsste (SCHRECKENBACH 1990). Während die Impfung gegen Bakteriosen per Spray oder Tauchbehandlung erfolgreich bei Fischen angewandt wurde, sind kommerzielle Vakzinierungen gegen Parasiten zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht erhältlich, obgleich erwiesen ist, dass trotz des Ausbleibens humoraler Antikörperreaktionen Fische Resistenzen und Immunitäten gegen parasitäre Krankheiten ausbilden können. Beispielsweise konnten bei Regenbogenforellen, welchen zuvor Injektionen mit toten *D.- spathaceum*- Zerkarien verabreicht worden waren, bei anschließenden Expositionen signifikant weniger Metazerkarien in den Augenlinsen diagnostiziert werden als bei Fischen, denen kein vorheriger Antigenkontakt ermöglicht wurde (STABLES & CHAPELL 1986).

Erreger mehrerer Bestände können, beispielsweise durch Belegung von Überwinterungsteichen mit Fischen aus unterschiedlichen Produktionseinrichtungen oder Zukauf von Brut und Fischen, an einem Ort zusammengetragen und untereinander verbreitet werden (Crowding). Besonders nachteilig ist hierbei, dass im Falle des Crowdings immunologisch unvorbereitete Fische zu einem Zeitpunkt auf Krankheitserreger treffen, zu dem sich diese Individuen aufgrund des vorangegangenen Handlings, Transports und des Umsetzens in eine neue Umwelt mit teilweise stark differierenden Wasserparametern in einem Zustand geschwächter Abwehrbereitschaft befinden.

Oberste Prämisse bei Einbringung von neuen Tieren aus fremden Lokalitäten muss immer die Haltung in einer räumlich getrennten Quarantäneeinrichtung zur Diagnose eventuell vorhandener Krankheitserreger sein (OCKLITZ et al. 1974). Erst nach Ablauf der Präpatenzperioden der zu erwartenden Erreger und einer abschließenden, negativen Stichprobenuntersuchung kann die gefahrlose Zusammenführung der Neuzugänge mit den vorhandenen Beständen erfolgen.

Die Zucht von Speisefischen in offenen Teichanlagen ermöglicht den unkontrollierten Zutritt unterschiedlichster Räuber (Reiher, Möwen, Kormorane, Säugetiere), die vom überreichen Nahrungsangebot der Produktionsstätten angezogen werden. Der Verlust an Zuchtfischen durch das Beutemachen dieser Tiere hat nur in Ausnahmefällen ökonomische Auswirkungen. Neben dem Graureiher (*Ardea cinerea*) und dem Fischotter (*Lutra lutra*) ist insbesondere der Kormoran (*Phalacrocorax carbo sinensis*) aufgrund seiner großen Populationen dazu in der Lage, Teichwirtschaften empfindlich zu schädigen. Der Anteil an Zuchtkarpfen in den Mägen von in Sachsen geschossenen Kormoranen betrug in jüngeren Untersuchungen beispielsweise 87 % (SEICHE 2003), was auf die hohe Anziehungskraft der Zuchtteiche auf die untersuchten Vögel schließen lässt. Werden Zuchtteiche unzureichend geschützt (z.B. durch eine Teil- oder Komplettüberspannung mit Netzen), so können die Bestände durch Fraß, Schnabelverletzungen und anschließende Sekundärinfektionen sowie insbesondere durch anhaltend hohen Stress durch jagende Kormorane massiv geschädigt werden. In einem Brandenburger Karpfenteich überlebten während der K2- Produktion im Jahre 1996 durch den Einfluss des Kormorans von 49.600 eingesetzten K1 beispielsweise nur zwei Tiere (SCHRECKENBACH et al. 1998). Neben dem direkten Einfluss der Fischräuber auf die Teichwirtschaft ist zu beachten, dass die genannten Tiere als Endwirte von fischgebundenen Parasitosen dienen und durch ihre Ausscheidungen die in den Teichen befindlichen Fische mit neuen Parasitenstadien kontaminieren und sekundär zu hohen Fischverlusten beitragen können (Nichtbeachtung des Schwarz/ Weiß- Prinzips).

Zusätzlich kann mangelnde Reinigung und Desinfektion der Produktionseinheiten das Überleben sowohl von wirbellosen Zwischenwirten als auch der eigentlichen Parasiten bis zur nächsten Belegung ermöglichen, so dass auch nach einer Produktionsruhe keine Parasitenfreiheit der Einrichtung erreicht wird (Nichtbeachtung des

Rein/ Raus- Prinzips). SCHÄPERCLAUS (1990) führt an, dass der Cestode *Khawia sinensis* im als Zwischenwirt genutzten Schlammröhrenwurm (*Tubifex* spp., *Limnodrilus* spp., *Ilodrilus* spp.) sogar zur Überwinterung fähig ist, weswegen betroffene Teiche bis zu einem Feuchtigkeitsgehalt von 12 % abzulassen und neben einer Durchfrierung mit 1000kg/ ha Chlorkalk zu desinfizieren sind. Bei im Kreislauf betriebenen Anlagen besteht zusätzlich die Gefahr, dass ins Wasser entlassene Parasitenstadien nicht abgeschwemmt, sondern mit dem aufbereiteten Produktionswasser wiederholt in die Fischbecken zurückgetragen werden.

Im mitteleuropäischen Raum treffen mittelfristig mehrere parasitenbegünstigende Faktoren zusammen: Aufgrund der Mehrfachnutzung stehender und fließender Gewässer als Naherholungsraum, im Rahmen der Nutzung als Schifffahrtswege und durch das Einleiten von kommunalen, landwirtschaftlichen und industriellen Abwässern sind die Mehrzahl der heimischen Gewässer trotz der fortgesetzten und teilweise erfolgreichen Bemühungen des Gesetzgebers zur Reduzierung der Gewässerverschmutzung nach wie vor mit großen Mengen an organischen Stoffen belastet. Resultierende hohe Trophien potenzieren die Entwicklung fischpathogener Parasiten durch die Unterhaltung großer Populationen an Invertebraten (Muscheln, Schnecken, Würmer, Krebstiere), welche durch den vermehrten Nährstoffeintrag verbesserte Existenzbedingungen vorfinden und als Zwischenwirte der Parasiten dienen. Larvale Parasiten, die ins Freiwasser gelangen, müssen oftmals ihre ersten Zwischenwirte innerhalb einer kurzen Zeitspanne auffinden, da sie nur über begrenzte Energievorräte verfügen und ohne Wirt alsbald verenden. Je größer die Konzentration an empfänglichen Wirten in einem Gewässer, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Infektion des ersten Zwischenwirtes durch den Parasiten (ZANDER 1998). Die aus den großen Mengen an Zwischenwirten resultierende Häufung an fischpathogenen Parasitenstadien bleibt jedoch größtenteils folgenlos, solange nicht entsprechende weitere Zwischen- und Endwirte in ähnlich hohem Maße von den Parasiten angetroffen werden können. Mittelfristig werden jedoch aus oben angeführten Gründen Aufzucht und Mast großer Mengen an Speisefischen in und an mitteleuropäischen Gewässern immer attraktiver, so dass von einer zunehmenden lokale Häufung an Wirtsfischen für die weitere Entwicklung der parasitären Zyklen ausgegangen werden muss. Sind in oder an einem entsprechend prädestinierten Gewässer darüber hinaus eine moderate Anzahl an geeigneten Endwirten (Raubfische, Vögel,

Säugetiere) zu finden, so sind alle Voraussetzungen für eine unnatürlich starke Entwicklung von Parasiten gegeben. Zusammenfassend ist bei intensiver Fischzucht in Verbindung mit nährstoffbelasteten Gewässern aufgrund der starken Konzentration von Zwischen- und Endwirten eine unnatürlich hohe Belastung des Ökosystems durch Parasiten mit verheerenden Folgen für Wild- und Zuchtfischbestände zu befürchten.

In jüngerer Zeit werden weltweit gehäuft parasitär bedingte Fischkrankheiten und Fischsterben beschrieben, die zum Teil hohe Verluste in bestehenden Fischzuchten verursachen (KÖRTING 1992). Eine dreijährige Untersuchung von 15 Regenbogenforellenbeständen in Mecklenburg-Vorpommern belegt beispielsweise eindrucksvoll, dass eine Häufung von Zwischenwirtschnecken (*Lymnaeidae* sp.) in den Zuflüssen einzelner Betriebe deutlichen Einfluss auf die Schwere der durch Metazerkarien von *D. spathaceum* verursachten Augenerkrankung hat (CORNELLY et al. 1990). Während in allen Betrieben der Erreger des Wurmstars nachgewiesen werden konnte, erreichten nur Betriebe, deren Zuflüsse große Mengen an infizierten Schnecken enthielten, Prävalenzen von bis zu 100 %. Besonders in Mitleidenschaft gezogen war insbesondere ein in unmittelbarer Nähe zu einer Möwenkolonie gelegener Betrieb, da hier durch das Auftreten des ersten Zwischenwirtes wie auch des Vogel- Endwirts ideale Bedingungen zur Vermehrung des Trematoden *D. spathaceum* gegeben waren.

Weitere Untersuchungen von in Netzkäfigen gehaltenen Regenbogenforellen in der Nähe von Cottbus unterstreichen die große finanzielle Bedeutung von fischpathogenen Parasitosen. Der Cestode *Proteocephalus neglectus* konnte bei der Mehrzahl der untersuchten Forellen als dominierende Schmarotzerspezies identifiziert werden. Die in Netzkäfigen gehaltenen Fische infizieren sich nachweislich durch die Aufnahme von frei im Wasser schwimmenden, mit Larvalstadien des Bandwurmes infizierten Kleinkrebsen. Während sich der adulte Bandwurm von Ingesta ernährt und erst bei hohen Intensitäten klinische Symptome verursacht, sind erhöhte Betriebskosten durch Leistungsdepressionen, vereinzelte Mortalitäten und erhöhtem Futterbedarf schon beim Befall mit wenigen Exemplaren zu beobachten. Darüber hinaus verursacht der Halteapparat des Cestoden Schäden an der Darmwand des Wirtes, die als Eintrittsporten für klinisch relevante, bakterielle Sekundärinfektionen dienen können (ENGELHARDT 1990).

Als besonders anschauliches Beispiel für die Schwere von parasitären Fischerkrankungen mögen die Untersuchungen von durch den Schwimmblasennematoden *Anguillicola crassus* verursachten Mortalitäten bei amerikanischen Aalen (*Anguilla rostrata*) dienen, welche in Taiwan gehalten wurden (OOI et al. 1996). Die dokumentierten massiven Aalverluste konnten auf die Körperwanderung und das Saugen von Aalblut larvaler und adulter Nematoden zurückgeführt werden. Während die Blutmahlzeiten generelle Anämien nach sich ziehen, resultieren die Wanderungen der Larven in Ödemen, Blutungen, Rupturen der Schwimmblase sowie zu schweren Peritonitiden. Die Autoren postulieren weiterhin, dass amerikanische und europäische Aale im Gegensatz zum japanischen Aal (*A. japonica*) stärker unter dem Nematodenbefall litten, da sie in ihrer Entwicklungsgeschichte keinen vorherigen Kontakt mit diesem Parasiten hatten und noch keine genetische Selektion bezüglich dieser Noxe erfahren hätten.

#### **2.4 Mangelnde Therapiemöglichkeiten für kommerzielle Fischbestände**

In der Vergangenheit konnten mit Parasiten befallene Fische im Rahmen von Injektions- oder Badbehandlungen sowie durch den Einsatz von antiparasitären Medizinalfuttermitteln (z.B. Zestocarp®) auf einer breiten Basis behandelt werden. Gelegentlich wurde durch die Ausbringung von Giftstoffen versucht, entsprechende Zwischenwirte der Parasiten zu vernichten, ohne die Auswirkungen auf das Ökosystem zu bedenken (s.u.). In jüngster Zeit sieht sich die kommerzielle Fischhaltung jedoch zunehmend von gesetzlichen Einschränkungen betroffen.

Der Rat der Europäischen Union in Brüssel ist bestrebt, gesetzliche Regelungen aller individuellen Mitgliedsstaaten so zu harmonisieren, dass das europäische Staatengebilde über eine gemeinsame rechtliche Grundlage verfügt. Eine einheitliche Gesetzgebung vereinfacht insbesondere die Interaktion von Wirtschaft und Warentransport der Mitgliedsstaaten, da alle produzierten Waren einem einheitlichen Standard entsprechen und zeit- und kostenaufwändige Kontrollen bei Einfuhr dieser Waren in ein innergemeinschaftliches Nachbarland entfallen können. Im Zuge dieser Angleichungen wurde im Jahre 1990 unter Anderem die Anwendung von Arzneimitteln bei lebensmittelliefernden Tieren im Rahmen der EU-Verordnung 2377/90 vereinheitlicht (ANONYM 4 1990). Die genannte Verordnung und ihre Anhänge legen fest, welche Arzneimittel seit dem 1.1.2000 europaweit bei Tieren, deren Produkte dem menschlichen Verzehr zugeführt werden sollen, angewandt werden dürfen und welche

Höchstmengen an Arzneimittelrückständen im Endprodukt tierischen Ursprungs einzuhalten sind.

Seit der Überführung der EU- Verordnung 2377/90 in nationales Recht besteht in Deutschland im Rahmen von § 56a Abs.1 und § 58 Abs.1 des Arzneimittelgesetzes ein breites Anwendungsverbot für viele bislang auf breiter Basis eingesetzte Arzneimittel bei lebensmittelliefernden Tieren. Ursachen für diese Entwicklung sind insbesondere auf dem Sektor der kommerziellen Fischzucht in den hohen Kosten für das Zulassungsverfahren für neue bzw. die Verlängerung bislang genutzter Substanzen zu suchen, die für die Pharmaindustrie in keinem Verhältnis zu den zu erwartenden Jahresumsätzen stehen (SCHLOTFELD 1998a, 1998b). Lässt man die für andere lebensmittelliefernde Tiere zugelassenen und im Rahmen einer Umwidmung durch den Tierarzt nutzbaren Arzneimittel außer Acht, so können im Bereich der kommerziellen Fischzucht nur noch wenige Präparate zur legalen Anwendung gelangen:

Während bei Fischen, die als Zierfische gehalten werden und nicht als Lebensmittel dienen, weiterhin eine breite Palette wirksamer Therapeutika zur Verfügung steht, darf bei Speisefischen nur noch ein antimikrobielles Arzneimittel (Borgal<sup>®</sup>) unter Beachtung der Rückstandshöchstmengenverordnung (MRL, Maximum Residue Levels) Verwendung finden. Das genannte Medikament ist als Antibiotikum bei parasitärem Befall nutzlos. Darüber hinaus sind vier weitere Wirkstoffe im Rahmen von Standardzulassungen anwendbar (Dr. HENRION, BUNDESINSTITUT FÜR RISIKOBEWERTUNG, mündl. Mitt.): Zum Einsatz kommen Kochsalz und 36%iges Formaldehyd zur Behandlung von Erkrankungen von Haut und Kiemen, Calciumhydroxid (Löschkalk) zur Desinfektion von Teichen und Hälterungsanlagen sowie Malachitgrün zur Behandlung von Fischeiern (DEUTSCHES INSTITUT FÜR MEDIZINISCHE DOKUMENTATION UND INFORMATION, Stand März 2004). Weitere gesetzliche Einschränkungen stehen zu befürchten (KLEINGELD, mündl. Mitt.). Während die Badenwendung mit Kochsalz oder Formaldehyd eine eingeschränkte Begegnung von Besiedlungen der Haut und Schleimhaut durch Ektoparasiten und Bakterien erlaubt, steht insbesondere zur Begegnung endoparasitischer Krankheitsausbrüche gegenwärtig kein einziges zugelassenes Präparat mehr zur Verfügung. Die Standardzulassung von 18 Präparaten für den Erhalt einer Minimalapothek zur Behandlung der häufigsten Nutzfischkrankheiten wird von tierärztlicher Seite vehement gefordert, bislang scheint eine positive Reaktion des Gesetzgebers jedoch nicht in Sicht (SCHLOTFELD 1998a).

Betriebe, deren Fischbestände unter Parasitosen leiden, sind aufgrund des gegenwärtigen Therapienotstandes oftmals nicht in der Lage, die Infektion mit legalen Mitteln auf ein befriedigendes Maß zu reduzieren. Die durch Parasitosen verursachten Mortalitäten führen bislang zu verheerenden Fischverlusten. SCHÄPERCLAUS (1990) beschreibt Sterblichkeitsraten von bis zu 95 % bei mit *Sanguinicola inermis* infizierten Karpfen, auch Dactylogyosen und Cestodosen führen bislang zum Verenden eines Großteils der befallenen Jahrgänge. Selbst beim Ausbleiben von ausgeprägten Fischverlusten bleiben befallene Tiere leistungsreduziert, da betroffene Gruppen aufgrund des ständigen und nicht kompensierbaren Stressors häufiger Wachstumsstörungen, erhöhten Futterbedarf und geschwächte Abwehrbereitschaft zeigen als ungestresste Artgenossen. Es konnte weiterhin nachgewiesen werden, dass chronischer Stress sogenannte Adaptationskrankheiten bei Fischen auslösen kann, welche sich in einer erhöhten Apoptoserate und vermehrter hydropischer Degeneration von Nebennierengewebe, Magen- und Darmschleimhaut, Haut- und Flossengewebe sowie einer Störung der Blutbildung äußert (HAMERS & SCHRECKENBACH, 2002). Die erhöhten Produktionskosten und Fischverluste sind in vielen Fällen aufgrund der ohnehin engen Gewinnmarge der Fischzucht mit dem weiteren Fortbestehen des Betriebes nicht mehr vereinbar.

## **2.5 Fischpathogene Trematoden**

### **2.5.1 Pathogenitätsmechanismen, Modulatoren und Bekämpfung von trematodenbedingten Fischkrankheiten**

Trematoden (Saugwürmer) sind als heteroxene Parasiten zur Vollendung ihres Lebenszyklus an das Vorhandensein mehrerer Wirtskategorien gebunden. Im internationalen Schrifttum liegen zahlreiche Nachweise über fischpathogene Effekte von Trematodenlarven vor. Die Erkrankung kann dabei in Form einer akuten Zerkariose oder als chronisch-protrahierte Metazerkariose in Erscheinung treten (ODENING 1990) und erstreckt sich in ihren Auswirkungen von geringsten Schädigungen bis hin zu Massenverlusten (SZIDAT 1927; CORNELIUS 1935; MATTHEIS & ODENING 1980; SHARIFF et al. 1980; KÖRTING 1992; BUCHMANN & ULDAL 1994). Im Falle einer Zerkariose werden die Fische durch das Eindringen und die anschließende

Körperwanderung der Parasitenlarven sofort geschädigt und verenden oftmals innerhalb weniger Stunden. Untersuchungen zeigen, dass Fische, die Zerkarien von *Bucephalus polymorphus* ausgesetzt sind, zunächst Unruhe und Fluchtreaktionen zeigen. Am Ort der perkutanen Invasion können bald darauf kleine, sich rasch ausbreitende Blutungen beobachtet werden. Die im weiteren Verlauf der Zerkariose beschriebenen pathologischen Reaktionen sind Hyperämien, Gefäßschäden, Muskeldegenerationen und –Nekrosen, Bindegewebsproliferationen und Infiltration von Entzündungszellen in betroffene Gewebe (BATURO 1980). Interessanterweise zeigen Fische, die von Zerkarien des Trematoden *Rhipidocotyle illense* infiziert werden, trotz stärkerer Schäden keinerlei Unruhe, da die Zerkarien nicht aktiv perkutan in die Fische eindringen, sondern von den Fischen als augenscheinliche Beuteorganismen offenbar freiwillig aufgenommen werden.

Im Gegensatz zur Zerkariose beruht die Pathogenität der Metazerkariose auf der mehr oder minder kompromittierenden Wirkung der abgekapselten Dauerstadien nach abgeschlossener Wanderung und Enzystierung auf das jeweilige Zielorgan (z.B. ZNS, Auge). So konnte gezeigt werden, dass ein sich alljährlich im Sommer wiederholendes Fischsterben im Kurischen Haff auf das Vorhandensein von *Diplostomum*-Metazerkarien in den Linsen und Glaskörpern der verendeten Fische zurückzuführen war (HEINEMANN 1937). Weiterführende Untersuchungen zu diesem Trematoden ergaben, dass bereits wenige dieser Dauerstadien in den Augen von Stichlingen (*Gasterosteus aculeatus*) die Sehfähigkeit ihrer Wirte nachteilig beeinflussen (OWEN et al. 1993). Infizierte Tiere zeigten im Vergleich zu parasitenfreien Artgenossen eine deutlich reduzierte Reaktionsdistanz beim Beutefang, so dass diese Tiere einen signifikanten Nachteil beim Futtererwerb hinnehmen mussten und über entsprechend reduzierte Kondition verfügten.

Das Ausmaß der pathogenen Wirkungen von Trematodenlarven wird zunächst durch wirts- und parasitenspezifische Variablen bestimmt sowie durch natürliche und anthropogene Umweltfaktoren modifiziert. Im Zusammenhang mit Fischparasitosen stehende, wirtsspezifische Variablen sind u.a.:

- Fischart: Die unterschiedliche Empfänglichkeit verschiedener Spezies gegen gleichartige Erreger ist ein weitverbreitetes Phänomen in der tiermedizinischen

Praxis und zugleich wohletabliertes Prinzip in Wirt- Parasit- Beziehungen. Faktoren, welche die Empfänglichkeit beeinflussen, können in morphologische, physiologische und ökologische Faktoren unterteilt werden. Beispielsweise muss der Wirt die morphologischen Voraussetzungen für eine Infektion mit einem bestimmten Parasiten, z. B. mit einem Schwimmblasennematoden, erfüllen. Tut er dies nicht, beispielsweise weil eine bestimmte Fischart keine Schwimmblase aufweist, so kann eine Infektion mit dem genannten Erreger nicht gelingen. Ebenso wichtig ist, dass artspezifische Stoffwechselleistungen des Wirtes einer Infektion nicht entgegenstehen. Eine spezifische und andauernde Immunantwort einer Fischart kann unter Umständen eine Infektion mit bestimmten Schmarotzern stark vermindern (STABLES & CHAPPELL 1986). Ökologische Faktoren sind schließlich ausschlaggebend dafür, ob sich Parasit und Wirt überhaupt begegnen können und ob der Parasit bei einem Habitatswechsel des Wirtes überleben kann (WILLIAMS & JONES 1994). Es konnte in diesem Zusammenhang gezeigt werden, dass Lachse kurz nach Beginn ihres Laichaufstieges fast vollständig parasitenfrei sind, da die marinen Schmarotzer an das Leben im Meer angepasst sind und den Wechsel ins Süßwasser nicht überstehen.

- **Kondition:** Es ist häufig zu beobachten, dass geschwächte oder schlecht konditionierte Fische aufgrund einer reduzierten Abwehrbereitschaft und geringer Energiereserven generell anfälliger gegen (parasitäre) Infektionen sind als ausreichend genährte Artgenossen mit guter Kondition. Insbesondere die Abwehr an den Körperoberflächen ist bei einem Energiemangel durch einen Rückgang der notwendigen Schleimzellen, Antikörper und Leukozyten in der Schleimhaut stark verringert (SCHRECKENBACH 1993).

Die Infektion mit einem Parasiten stellt immer einen andauernden Stressor für den befallenen Wirt dar. Während kurzzeitige Stressoren mit Hilfe einer physiologischen Anpassungsreaktion überwunden werden können, äußert sich ein protrahierter Parasitenbefall oftmals durch die Einstellung der Nahrungsaufnahme. Sollten die zuvor angelegten Energiereserven nicht bis zur Formulierung einer Immunantwort oder einer andersartigen Lösung der Befallsproblematik (z.B. Verkapselung des Erregers) ausreichen, so kann der befallene Wirt aufgrund einer nichtkompensierten Stressreaktion verenden.

- Alter und Größe: Während das Alter von Fischen durch die Ausbildung von Altersresistenzen oder -Immunitäten Einfluss auf eine Parasitose nehmen kann (ODENING 1990), so zum Beispiel bei Karpfen über 7 cm Länge, bei denen eine Dactylogyrose kaum mehr zu klinischer Auffälligkeit führt (SCHÄPERCLAUS 1990), ist die Größe des Wirtstiers vor allem bei aktiv penetrierenden bzw. im Organismus wandernden Parasiten von Bedeutung. Kleine Fische können bereits von wenigen eindringenden Parasiten irreversibel geschädigt werden (BATURO 1978). Großwüchsige Fische bieten frei im Wasser schwimmenden Parasitenlarven einerseits eine vermehrte Penetrationsfläche und werden somit häufiger befallen, andererseits erfordern sie von den Schmarotzern im Falle einer Körperwanderung einen vermehrten Energieaufwand bis zum Erreichen des Zielorgans, so dass potenziell weniger Parasiten das jeweilige Gewebe erreichen und den Wirt in Form der Metazerkariose schädigen können. Weiterhin wird durch das transkutane Eindringen eines Parasiten bei großen Fischen ein prozentual geringerer Oberflächenanteil als bei Kleinfischen geschädigt, so dass die Membranfunktion der Haut weniger gestört wird, als ein zahlenmäßig vergleichbares Eindringen dies bei kleineren Exemplaren vermag.

Für die Stärke der durch Trematodenlarven hervorgerufenen pathologischen Veränderungen im Wirt sind auch parasitenspezifische Variablen von Bedeutsamkeit, wie z.B.:

- Parasitenart: Ähnlich wie verschiedene Fischarten in unterschiedlicher Weise auf den Befall mit einem Erreger reagieren, zeigen verschiedene Trematodenspezies eine differenzierte Selektivität und Pathogenität gegenüber einzelnen Wirtsorganismen. Die zugrundeliegenden Ursachen können analog in morphologische, physiologische und ökologische Faktoren unterteilt werden (s.o.).
- Infektionsweg: Die Unterschiede in der pathogenen Wirkung beruhen dabei auf den spezifischen Eigenschaften der Erreger. Larvale Trematoden infizieren den Wirtsorganismus entweder passiv (z.B. durch die orale Aufnahme von

bereits infizierten Zwischenwirten) oder aber aktiv durch die direkte Penetration von Haut- oder Kiemengewebe, wodurch es zur Ausprägung einer akuten Zerkariose mit typischen pathologischen Effekten wie Haut- und Schleimhautdefekten, Hämorrhagien, Ulzerationen, bakteriellen und mykotischen Sekundärinfektionen und Nekrosen am Ort der Penetration kommen kann (SCHÄPERCLAUS 1990). Nach dem Eindringen in den Fisch wandern die Trematodenlarven in der Regel im Bindegewebe der Unterhaut oder Muskulatur bzw. nach Penetration des Blutgefäßsystems mit den Körperflüssigkeiten zu ihrer endgültigen Lokalisation (RATANARAT 1968). Entsprechend der Bedeutung des dabei geschädigten Gewebes für den Gesamtorganismus kann die Wanderung der Larven tödlich sein.

- Lokalisation: In Abhängigkeit zur jeweiligen Bedeutung des Zielorgans für das Funktionieren des Gesamtorganismus können die pathologischen Auswirkungen des Parasitenbefalls stark variieren. Während z.B. ein Befall mit Muskelmetazerkarien häufig zu beobachten ist und unter natürlichen Bedingungen aufgrund der geringen physiologischen Bedeutung eines anteiligen Verlustes von Muskelmasse gut von Fischen vertragen wird (BATURO 1978), kann das Vorhandensein von bereits wenigen Metazerkarien im Gehirn oder in den Augenslinsen zu Verhaltensänderungen und zum Tod der Wirte führen (CROWDEN & BROOM 1980; OWEN et al. 1993; SHIRAKASHI & GOATER 2001).
- Befallsintensität: Die Anzahl an eindringenden Parasiten steht in offensichtlichem Zusammenhang mit den zu erwartenden pathologischen Effekten. Während geringe Befallsintensitäten in der Regel besser vom Wirt vertragen werden, sind hochgradige Befallsintensitäten aufgrund der zunehmenden Schädigung der in Mitleidenschaft gezogenen Organsysteme oftmals letal. Beispielsweise führt der Befall mit einzelnen Cestoden im Regelfall nicht zu klinischen Symptomen. Bei starkem Befall magern involvierte Tiere aufgrund eines Nährstoffentzugs und einer Toxinproduktion der Cestoden rasch ab, zudem kann der Darm durch die Bandwürmer komplett verlegt und die Darmwand durch die Anheftung der Parasiten geschädigt und für Sekundärinfektionen empfänglich werden (SCHÄPERCLAUS 1990).

Sowohl wirts- als auch parasitenspezifische Variablen werden durch anthropogene und natürliche Umwelteinflüsse modifiziert (WILLIAMS & JONES 1994). Faktoren, die einen Einfluss auf eine Parasit- Wirtsbeziehung ausüben können, sind unter anderem:

- Temperatur, Sauerstoff und andere abiotische Parameter: Sämtliche Wasserparameter sind von größter Bedeutung für die Interaktion von Parasit und Wirtsfisch. Insbesondere die Wassertemperatur übt einen starken Einfluss, beispielsweise auf das Wachstum und die Immunkompetenz von Fischen aus (REICHENBACH-KLINKE 1975). Höhere Temperaturen beschleunigen in der Regel den Stoffwechsel, so dass größere Mengen Energie in kurzer Zeit aufgenommen und mit positiven Effekten auf die Kondition der Fische gespeichert werden können. Die unspezifische und spezifische Immunantwort auf Infektionen ist bei höheren Temperaturen ebenfalls gesteigert. So steigt mit erhöhter Temperatur die Reaktionsfreudigkeit des Komplements, eines nichtzellulären, zelllysierenden Abwehrstoffes ebenso wie die des C-reaktiven Proteins, welches körperfremde Kohlenhydrate präzipitiert. Die Bildungsgeschwindigkeit von Interferon durch virusinfizierte Körperzellen steigt ebenfalls (SCHRECKENBACH 1990). Auch die Abwehrleistungen von lysierenden und hämolysierenden Enzymen in den extrazellulären Flüssigkeiten der Fische sowie die Fähigkeit der zahlreichen unspezifischen Abwehrzellen (Lymphozyten, Monozyten, eosinophile Granulozyten) Fremdmaterial zu phagozytieren und unschädlich zu machen, wird potenziert. Auch die Fähigkeit des spezifischen Immunsystems, auf Infektionen mit der Bildung spezifischer Antikörper zu antworten, ist stark von der Temperatur abhängig. Beispielsweise treten beim Karpfen bei Wassertemperaturen um 25°C bereits 9 Tage p.i. spezifische Antikörper im Serum auf, während bei Temperaturen von 12°C noch nach Monaten keine Antikörper nachweisbar sind (SCHRECKENBACH 1990). Die Überlebenszeit von freien Parasitenstadien reduziert sich häufig mit steigender Wassertemperatur, da sie aktiver sind und ihre Energievorräte schneller erschöpfen. Von BATURO (1977) untersuchte Zerkarien des Trematoden *Bucephalus polymorphus* überlebten beispielsweise 48 h bei 17°C warmen

Wasser. Eine Erhöhung der Wassertemperatur auf 28°C reduzierte die Überlebensdauer auf 28 h.

Allerdings wird auch der Lebenszyklus von Parasiten durch höhere Wassertemperaturen generell beschleunigt ablaufen, so dass in einem gegebenen Zeitraum bedeutend mehr Generationen gebildet werden können, wenn die Wassertemperatur dies ermöglicht. Beispielsweise dauert die Entwicklung von *Dactylogyrus*-Eiern bis zur Schlupfreife der Hakenwimpernlarve bei einer Temperatur von 8°C 27-28 Tage; eine Verdreifachung der Temperatur auf 24°C verkürzt diese Zeitspanne jedoch bereits um den Faktor 14 auf zwei Tage (SCHÄPERCLAUS 1990).

- Nahrungsangebot und Wirtsdichte: Müssen eine große Anzahl an Fischen um Nahrung konkurrieren, so stellt sich oftmals eine zunehmende Verbüttung der Bestände ein: Obwohl die Anzahl der Fische groß bleibt, ist das Einzeltier in seinem Wachstum zurückgeblieben und verfügt über eine schlechte Kondition. Darüber hinaus stellt die ständige Konkurrenz einen Stressor dar, der zu Immunsuppression und Krankheitsausbrüchen führen kann. Ein ausreichendes Nahrungsangebot und geringe Fischdichten hingegen ermöglicht es den Tieren, schnell eine gute Kondition zu erlangen. Ein hohes Nahrungsangebot kann jedoch gleichfalls Ursache für die Entwicklung großer Mengen an neuen Wirten sein. Die erleichterte Wirtsfindung und der entsprechend forciert ablaufende parasitäre Lebenszyklus ermöglichen das verstärkte Aufkommen von Parasiten. Sind in einem Gewässer aufgrund einer erhöhten Trophie, z.B. durch Einleiten von kommunalen Abwässern, große Mengen an empfänglichen ersten Zwischenwirten (Mollusken) zu finden, so bestehen für freilebende Parasitenstadien hervorragende Chancen, innerhalb ihrer kurzen Lebenszeit einen dieser Wirte zu finden und zu infizieren. Entsprechend der erhöhten Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Infektion steigt der Infektionsdruck aller nachfolgend benötigten Wirtsfische durch die forcierte Produktion der fischpathogenen parasitären Stadien im ersten Zwischenwirt.

Zur Bekämpfung von durch Trematoden verursachten Fischparasitosen werden in der Literatur verschiedene biologische, chemische und physikalische Methoden aufgeführt (ODENING 1990), welche in der Regel entweder auf eine direkte Schädigung

der Schmarotzer oder aber auf die Unterbrechung ihres Lebenszyklus (z.B. durch Vernichtung der obligatorischen Wirte) abzielen. Grundlegende Bekämpfungsstrategien sind das Trockenlegen und Kalken problematischer Teiche. Ist keine Möglichkeit zur Ablassung des Wassers gegeben, so gestaltet sich die Bekämpfung der Trematoden schwieriger. So wird als eine Möglichkeit zur Bekämpfung von Parasitosen der Einsatz von Chemikalien (Molluskiziden, z.B. Bayluscid<sup>®</sup>: 0,3 mg/l Wasser, SCHÄPERCLAUS 1990) beschrieben, welche neben anderen Organismen auch die zur Entwicklung von Trematoden notwendigen Muscheln oder Schnecken abtöten. Darüber hinaus wurden freilebende Übertragungsstadien von Trematoden (Eier, Mirazidien, Zerkarien) unter Laborbedingungen durch die Anwendung von Ultraschall, ultraviolettem Licht oder elektrischem Strom erfolgreich bekämpft (WLASENKO 1969, 1972; KAMENSKIJ 1970; ODENING 1990). Die jeweiligen Verfahren bergen für die praktische Anwendung allesamt Vor- als auch Nachteile oder gar Risiken. Die Anwendung von Ultraschall mit einer Stärke von 20- 50 W/ cm<sup>2</sup> bei einer Frequenz von 50- 1000 Hz tötet beispielsweise Eier, Mirazidien und Zerkarien verschiedener Trematodenspezies zuverlässig ab. Zusätzlich werden auch einige Zwischenwirte wie Kleinkrebse und Daphnien erfolgreich bekämpft. Die Methode hat jedoch keinerlei nachweisbaren Einfluss auf potenzielle Wirtsschnecken. Die Behandlung von Zerkarien des Trematoden *D. spathaceum* mit UV- Licht bei einer Dosis von 230- 450 mW \* s/ cm<sup>2</sup> ist geeignet, um 50 % bzw. 100 % der in einem ml Wasser enthaltenen 100 Zerkarien abzutöten oder stark in ihrer Infektivität zu hemmen. Die Wirkung entfaltet sich jedoch nicht sofort, sondern nach einer gewissen Wartezeit, was den Einsatz der Methode verkompliziert. Auch die Behandlung eines Wasservolumens mittels elektrischem Strom ist prinzipiell geeignet, um verschiedene Arten von Zerkarien zu vernichten. Im Vergleich mit den anderen Methoden ist der zugrundeliegende Strombedarf jedoch so hoch, dass die Wirtschaftlichkeit der Anwendung fraglich bleibt. Alle aufgeführten Verfahren werden hinsichtlich ihrer Effizienz durch spezifische Umweltvariablen (wie z.B. Transparenz oder Leitfähigkeit des behandelten Wasserkörpers) beeinflusst und sind je nach den vorherrschenden Bedingungen unterschiedlich zur Bekämpfung von Trematodenstadien geeignet. Beispielsweise ist eine starke Trübung des zu behandelnden Wassers für die Anwendung von UV- Licht als ungünstig zu bewerten, während dieser Wasserparameter für die Behandlung mit Ultraschall von untergeordneter Bedeutung ist.

### 2.5.2 Der Trematode *Bucephalus polymorphus* in der Modellanlage

Durch den Fischgesundheitsdienst der Tierseuchenkasse Sachsen wurde vor Beginn der im Folgenden vorgestellten Untersuchungen bei verendeten Tieren bzw. Fischen mit auffälliger Klinik ein Befall mit Metazerkarien nicht endgültig bestimmter Trematodenarten diagnostiziert. Da als erster Zwischenwirt stets Mollusken benötigt werden, fördert die hohe Trophie der nahegelegenen Talsperre, welche zur Wasserversorgung der Fischhälterungsanlage genutzt wird, die Massenentwicklung von Schnecken und Muscheln und damit das Aufkommen großer Mengen parasitischer Trematoden. Während vor der Wiedervereinigung Deutschlands jährlich bis zu 10 t Phosphor in die Talsperre gelangten, konnte der jährliche Eintrag von Nährstoffen durch die Inbetriebnahme einer Kläranlage mit Phosphat-Eliminierung auf ca. 5 t reduziert werden. Darüber hinaus kommt es aufgrund der geringen mittleren Tiefe des Gewässers (2-3 m) häufig zu starker Rücklösung des sich am Gewässerboden befindlichen organischen Substrates durch Windbewegung. Die durch Rücklösung ins Wasser eingetragene Menge an Phosphor wird auf noch einmal 5 t jährlich geschätzt (NEUMANN, sächsische Talsperrenverwaltung, mündl. Mitt.). Die hohe Trophie der Talsperre stellt demnach den grundlegenden Faktor für das verstärkte Auftreten von fischpathogenen Parasiten dar.

Die zu Projektbeginn durchgeführten fischparasitologischen Untersuchungen (s.u.) offenbarten einen starken Befall verschiedener Fischarten mit Metazerkarien des Trematoden *B. polymorphus* Baer, 1827, der aufgrund seiner zahlenmäßigen Präsenz und durch folgende Infektionsversuche zweifelsfrei als Ursache für die beobachteten Verluste in der Fischhälterungsanlage bestätigt wurde. Aus diesem Grunde fokussieren alle nachfolgend durchgeführten Versuche auf den genannten Schmarotzer, welcher an dieser Stelle eingehender vorgestellt werden soll.

Die Familie der Bucephalidae wird zum überwiegenden Teil von marinen Vertretern gebildet. Im Süßwasser sind typischerweise lediglich die Gattungen *Bucephalus* und *Rhipidocotyle* anzutreffen, wobei die Gattungen *Bucephalopsis* und *Prosorhynchus* ebenfalls vereinzelt zu beobachten sind, da diese mit ihren Wirten aus dem Salzwasser verschleppt werden können (BYKHOVSKAYA et al. 1964). Von den über 30 Arten der Gattung *Bucephalus* ist in Europa und der ehemaligen Sowjetunion bislang fast ausschließlich *B. polymorphus* nachgewiesen worden. Eine Möglichkeit der Verwechslung besteht in Bezug auf *Rhipidocotyle illense* (syn. *R. campanula*), der Einzi-

ge von zehn Vertretern der Gattung *Rhipidocotyle*, welcher ebenfalls in Europa und dem europäischen Teil der ehemaligen Sowjetunion anzutreffen ist (BYKHOVSKAYA et al. 1964). Beide Arten wurden in der Vergangenheit gelegentlich verwechselt, obwohl sie eindeutige morphologische Unterschiede aufweisen. Zum einen sind die Anhänge des gegabelten Schwanzes der *B.-polymorphus*-Zerkarien sehr lang, filigran und hochbeweglich, während die furcae der *Rhipidocotyle*-Zerkarien um ein vielfaches kürzer und dicker erscheinen. Zum anderen zeigen die Adulti von *B. polymorphus* sieben charakteristische Kopfanhänge (siehe auch Abb. 12), während *R. illense* seitlich des Kopfsaugnapfs zwei flügelartige Strukturen trägt. Des Weiteren ist *B. polymorphus* auf die Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* als einzigen ersten Zwischenwirt angewiesen, während *R. illense* in anderen Muschelarten parasitiert (s.u.). Interessanterweise beschreiben TASKINEN et al. (1991) einen Trematoden, dessen Zerkarien aufgrund der langen, kontraktiven Schwanzanhänge der Spezies *B. polymorphus* zugeordnet zu sein scheinen. Die adulte Form sieht jedoch *R. illense* stark ähnlich und zeigt keine sieben Kopfanhänge. Zusätzlich kann nachgewiesen werden, dass der genannte Parasit nicht die Dreikantmuschel *D. polymorpha*, sondern die flache Teichmuschel *Anodonta anatina* als ersten Zwischenwirt nutzt und somit weder der Art *R. illense* noch der Art *B. polymorphus* eindeutig zugeordnet werden kann. Die Autoren definieren den Parasiten infolgedessen als neue Art *Rhipidocotyle fennica*. Immer wieder werden neue Vertreter der Gattung *Bucephalus* in der Literatur beschrieben, wie beispielsweise *B. anguillae* (ŠPAKULOVA et al. 2002), einem Schmarotzer von Aalen der Brackwasserregionen der Adria, der große morphologische Ähnlichkeiten mit *B. polymorphus* aufweist. Es ist somit davon auszugehen, dass auch weiterhin neue Arten der Gattungen *Bucephalus* und *Rhipidocotyle* beschrieben und die klassischen Bestimmungsschlüssel entsprechender Verfeinerung und Überarbeitung bedürfen werden.

Zum Entwicklungszyklus sowie zur Morphologie der verschiedenen Larvalstadien von *B. polymorphus* sind in der Literatur sehr widersprüchliche Angaben zu finden: BATTURO (1977) wies durch Untersuchungen zum Lebenszyklus von *B. polymorphus* nach, dass der durch VON BAER (1827) in Muscheln beschriebene Parasit aufgrund der von ihm sezierten Muschelarten (*Unio pictorum*, *Anodonta anatina*, *A. cellensis*) nicht *B. polymorphus*, sondern offensichtlich *R. campanula* war, da *B. polymorphus* nur in der Dreikantmuschel *D. polymorpha* zu parasitieren vermag. Da die aufgrund

der Prioritätsregel korrekterweise vorzunehmenden Namensänderungen jedoch zu neuerlichen Missverständnissen führen würden, ist eine Umbenennung bislang unterblieben. Weitere Bemerkungen zu dieser Problematik finden sich bei PIETROCK (1998). Die folgenden Ausführungen stützen sich im wesentlichen auf die Untersuchungen von BATURO (1977).

Der holarktisch verbreitete Trematode *B. polymorphus* gehört nach BAUER (1987) zur Familie der Bucephalidae und besitzt einen obligaten 3-Wirte-Zyklus (Abb. 1). Als Endwirte dienen Raubfische aus den Familien Percidae, Esocidae, Siluridae, Salmonidae, Anguillidae, Acipenseridae und Gadidae (BAUER 1987; KÖRTING 1992). Die im Darm der Endwirte lebenden Saugwürmer geben nach Erreichen der Geschlechtsreife mehrere tausend Eier ab (MARKEVIČ 1951), die mit den Fäzes der Wirte ins Wasser gelangen. In den ins Wasser entlassenen Eiern befindet sich das fertig embryonierte erste Larvenstadium (Mirazidium), welches zur Weiterentwicklung in einen geeigneten ersten Zwischenwirt gelangen muss. Der Schlupf der Wimpernlarve erfolgt bei Trematoden der Gattung *Bucephalus* oftmals kurz nach der Ausscheidung der Eier. Eine aktive Infektion des ersten Zwischenwirtes ist demnach wahrscheinlich (WILLIAMS & JONES 1994).

Nach BATURO (1977) ist die Dreikantmuschel *D. polymorpha* der einzige erste Zwischenwirt von *B. polymorphus*. In der Literatur wurden des weiteren die Muscheln *Unio pictorum*, *U. tumidus*, *U. crassus* sowie *Anodonta cygnea*, *A. anatina* und *A. cellensis* als erste Zwischenwirte dieses Trematoden erwähnt (SKRJABIN & GUSCHANSKAJA 1962; YAMAGUTI 1975), jedoch handelt es sich hierbei vermutlich um die Zwischenwirte des nahe verwandten und in der Literatur oft verwechselten Bucephaliden *R. campanula* (s.o.). Nach TASKINEN et al. (1991) sind in Mollusken vorkommende Entwicklungsstadien von *B. polymorphus* bisher nur in *Dreissena* sp. nachgewiesen worden.

In den Muscheln entwickeln sich die Mirazidien zu Muttersporozysten, die ihrerseits parthenogenetisch Tochterindividuen erzeugen. In den verzweigten Tochterporozysten erfolgt die massenhafte Bildung von Zerkarien, die lebend geboren werden. Aus einem einzigen Mirazidium können somit im Laufe der über mehrere Jahre fortbestehenden Muschelinfektion mehrere zehntausend fischpathogene Zerkarien entstehen. Das Austreten der Zerkarien aus den Mollusken erfolgt v.a. in den wärmeren

Monaten April bis September (BATURO 1977). Die Lebensdauer der Zerkarien ist temperaturabhängig und beträgt bei 17-22° C etwa ein bis zwei Tage. In diesem Zeitraum müssen sie zur weiteren Entwicklung einen geeigneten zweiten Zwischenwirt befallen. Nach BAUER (1987) sind bisher etwa 20 Fischarten aus den Familien Cyprinidae und Osmeridae als zweite Zwischenwirte von *B. polymorphus* bekannt, die zukünftige Entdeckung weiterer empfänglicher Spezies ist sehr wahrscheinlich, wie die Beschreibung von *Knipowitshia caucasia* als neue für *B.-polymorphus*-Infektionen empfängliche Fischart durch DILER & YILDIRIM (2003) zeigt.

Die Zerkarien haften sich an vorüberschwimmenden Fischen an, indem sie ihre Schwanzanhänge harpunenartig vorschnellen lassen und sich mit dem distalen Ende der Schwanzanhänge an der Körperoberfläche des Wirtstieres anheften. WILLIAMS & JONES (1994) beschreiben Sekretionsdrüsen an den furcae, die eine Klebesubstanz ausscheiden und somit das Haften an der Oberfläche von Wirtsfischen ermöglichen, während BATURO (1977) von saugnapfartigen Strukturen spricht, die der beschriebenen Funktion dienen. Die bei eigenen Untersuchungen gemachten Beobachtungen zeigen an den Enden der Schwanzanhänge je einen runden, transparenten Anhang. Ob dieser jedoch einen Tropfen Klebesubstanz darstellt oder es sich um einen feinen, membranösen Saugnapf handelt, konnte nicht abschließend geklärt werden.

Während der folgenden aktiven Penetration der Fische werfen die Trematodenlarven ihren gegabelten Schwanz ab. Nach Durchdringung der Haut oder Schleimhaut mit Hilfe der proteolytischen Enzyme einer Penetrationsdüse siedeln sich die mit einem gestachelten Integument umhüllten Zerkarien überwiegend in Flossen, Kiemen und Muskulatur der Wirte an und beginnen sich zu enzystieren, ohne eine ausgeprägte Körperwanderung zu vollziehen. Nach BATURO (1977) dauert diese Phase etwa 2-3 Tage. Je nach Ort der Penetration und Anzahl der zum selben Zeitpunkt eindringenden Zerkarien können die resultierenden Haut- und Schleimhautschäden für den Wirtsfisch tödlich sein. Schäden werden sowohl durch die aktive Penetration der Oberfläche als auch durch das Wandern des bestachelten Parasiten im Wirtsgewebe verursacht. Weiterhin sezernieren die Zerkarien proteolytische Enzyme, um die Wanderung im Wirtsgewebe zu erleichtern und sich von den gelösten Eiweißen zu ernähren (BATURO 1980). Die sich im Folgenden entwickelnden Ödeme, Blutungen, Nekrosen und entzündlichen Prozesse können, wenn eine je nach Fischgröße und – kondition kritische Menge an Zerkarien gleichzeitig in den Fisch eindringen, das Bild

einer klinischen Zerkariose auslösen, an der betroffene Fische in wenigen Stunden bis Tagen verenden. Etwa zwei Wochen p. i. ist die Entwicklung zur Metazerkarie abgeschlossen. Die Lebensdauer der Metazerkarien beträgt ca. fünf Monate (BATURO 1977). Während dieser Zeit überdauern die Metazerkarien als reaktionslose Dauerstadien. Werden befallene Fische von als Endwirt geeigneten Raubfischen erbeutet, erfolgt in deren Darm die Exzystierung der Metazerkarien und ihre Weiterentwicklung zum Adultus. In der Literatur wird die maximale Länge der erwachsenen Trematoden mit 2,3 mm angegeben (BYKHOVSKAYA-PAVLOVSKAYA et al. 1964). Nach POJMANSKA (1985) beginnen diese 3 Monate p. i. mit der Eiproduktion. Gravide *B. polymorphus* wurden von der Autorin 4-5 Monate p. i. festgestellt.

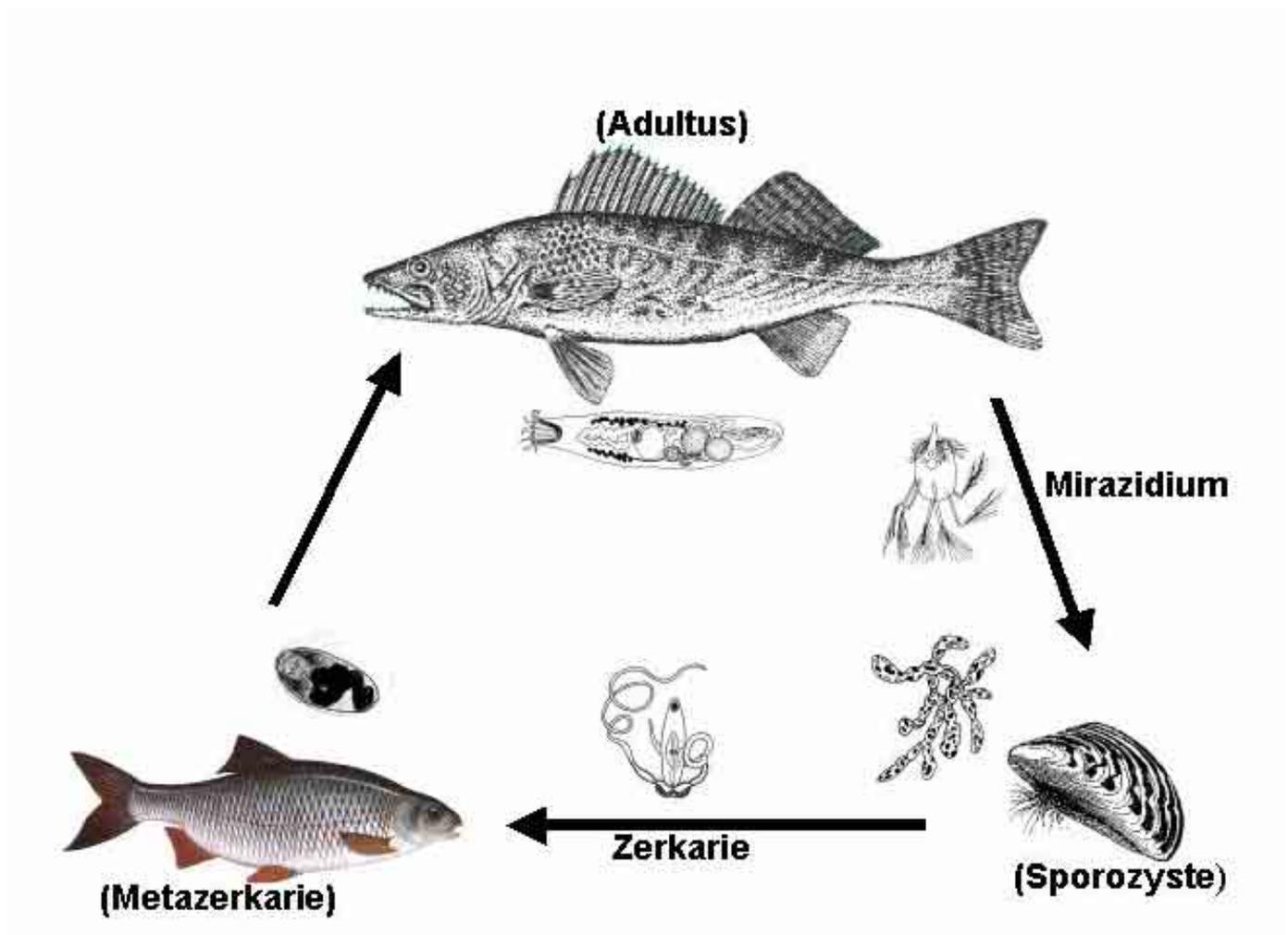


Abb. 1: Lebenszyklus von *B. polymorphus*, schematisch. Die dargestellten Größenverhältnisse entsprechen nicht den natürlichen Gegebenheiten!