

5 Diskussion

5.1 Ermittelte Parasitenfauna der Fischzuchtanlage: *B. polymorphus*

Der Trematode *B. polymorphus* ist in Europa weit verbreitet und konnte neben dem vorliegenden Nachweis schon in der Vergangenheit bei einer großen Zahl von Fisch- und Muschelwirten nachgewiesen werden. So liegen beispielsweise Untersuchungen zur Bucephalose in der Konin- Region Polens vor (BATURO 1978). Untersuchte Gewässer, welche mit erwärmten Wasser versorgt wurden, zeigten dabei eine vergleichsweise hohe Belastung mit dem genannten Trematoden. Dies ist höchstwahrscheinlich auf die forcierte und bis in den Spätherbst andauernde Produktion von Zerkarien im Muschelwirt zurückzuführen. Der Autorin gelangen weiterhin experimentelle Infektionen von Plötze (*R. rutilus*), Rotfeder (*S. erythrophthalmus*), Ukelei (*A. alburnus*), Güster (*A. bjoerkna*), Schleie (*T. tinca*), Gründling (*G. gobio*) und Graskarpfen (*C. idella*) mit *B.- polymorphus*- Zerkarien, was die Rolle dieser Spezies als zweite Zwischenwirte belegt.

Untersuchungen von wild gefangenen Brassern (*A. brama*) und Plötzen (*R. rutilus*) derselben Region konnten zeigen, dass Brassern mit teilweise mehreren Tausend Metazerkarien stärkere Intensitäten aufwiesen als parallel im selben Gewässer gefangene Plötzen. Zudem waren Brassern häufiger (Prävalenz 76 %) und während des gesamten Jahres infiziert, während der Nachweis von Metazerkarien bei untersuchten Plötzen eine Prävalenz von 23,5 % ergab und im Gegensatz zu den untersuchten Brassern nicht in allen Monaten gelang (POJMANSKA 1985).

EJSYMONT (1970) wies adulte *B. polymorphus* im Magen-Darm-Trakt von in polnischen Gewässern gefangenen Quappen (*Lota lota lota*) nach. Darüber hinaus konnten weitere adulte Exemplare im Magen-Darm-Trakt von Hecht (*E. lucius*), Zander (*S. lucioperca*) und Kaulbarsch (*G. cernua*) nachgewiesen werden.

PUCILOWSKA (1969) wies adulte *B. polymorphus* bei Hechten (*E. lucius*) und Barschen (*P. fluviatilis*) des Zegrzynski- Stausees in Polen nach, während WIERZBICKA (1982) Kaulbarsche (*G. cernua*) im Stettiner Haff untersuchte und bei 68,5 % der untersuchten Fische *B.- polymorphus*- Metazerkarien in Muskulatur, Flossen, Kiemen und in der Umgebung der Harnblase nachweisen konnte. Bei einem Exemplar fand sich darüber hinaus ein adulter *B. polymorphus* im Darm, was auf die Rolle des

Kaulbarsches als Zwischen- und Endwirt im Lebenszyklus von *B. polymorphus* hindeutet, sofern seine Körpergröße das Erbeuten von infizierten Weißfischen gestattet. ERGENS et al. (1975) gelang der Nachweis von *B. polymorphus* bei Fischen der Theiß- Niederung. Adulti konnten bei Hechten (*E. lucius*), Flussbarschen (*P. fluviatilis*), Quappen (*L. lota*), Zingeln (*Zingel zingel*), Wolgazandern (*S. volgense*) und Zandern (*S. lucioperca*) mit Intensitäten von 3 bis 46 Trematoden je Fisch beobachtet werden, während Plötze (*R. rutilus*), Ukelei (*A. alburnus*), Flussbarsch (*P. fluviatilis*), Nase (*Chondrostoma nasus*), Döbel (*Leuciscus cephalus*), Hasel (*L. leuciscus*), Barbe (*Barbus barbus*), Zobel (*Abramis sapa*) und Gründling (*Gobio gobio*) Metazerkarien von *B. polymorphus* aufwiesen.

Neben der üblichen Lokalisation der Metazerkarien in Muskulatur und Kiemen konnte interessanterweise bei Brassen (*A. brama*) des Flusses Wda (Polen) die Invasion der Cornea mit großen Mengen an *B.- polymorphus*- Stadien festgestellt werden (GRABDA & GRABDA 1967). Am Ende von Bohrgängen, die von der Oberfläche der Cornea ausgingen und in tiefere Schichten der Hornhaut des Auges reichten, gelang der Nachweis enzystierter Metazerkarien von *B. polymorphus*. Es scheint somit gesichert, dass Zerkarien, die auf die Hornhaut des Auges treffen, diese wie die Schleimhaut von Kiemen und Körperoberfläche durchdringen und sich im Folgenden im Augengewebe enzystieren.

MOLNAR (1969) wies mehrfach Adulti des Trematoden *B. polymorphus* bei ungarischen Zandern (*S. lucioperca*), Wolgazandern (*S. volgense*) und Strebern (*Zingel streber*) nach. Metazerkarien wurden in Bleien (*A. brama*), Zandern (*S. lucioperca*) und Güstern (*A. bjoerkna*) nachgewiesen. Die beobachteten Intensitäten werden mit bis zu 20 Exemplaren pro befallenem Fisch angegeben.

POJMANSKA (1985) konnte belegen, dass das Heranreifen adulter *B.- polymorphus*-Trematoden im Magen-Darm-Trakt von Hecht (*E. lucius*), Barsch (*P. fluviatilis*) und Zander (*S. lucioperca*) jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt und im zeitigen Frühjahr und Hochsommer zwei deutliche Maxima aufweist, wobei die Befallsintensitäten von Barsch und Hecht generell niedriger waren als die der untersuchten Zander. Die genannten Fluktuationen scheinen zunächst ungewöhnlich, da infektiöse Metazerkarien über das gesamte Jahr in Beutefischen zur Verfügung stehen und bislang von einer kontinuierlich erfolgenden Infektion der Endwirte ausgegangen wurde. Die Autorin erklärt das Zustandekommen des ersten Maximums mit dem analog zu den Wassertemperaturen steigenden Appetit der Raubfische zum Frühjahr, welcher

zu einem verstärkten Erbeuten von infizierten Weißfischen und, in direkter Folge, zu einem gehäuften Schlupf von Metazerkarien im Darm der Raubfische führt. Das im Sommer beobachtete gehäufte Aufkommen an Adulti im Darm der Endwirte ist wiederum schlüssig durch das Freisetzen großer Mengen an Zerkarien aus der Dreikantmuschel *D. polymorpha* zu erklären, welches zu einer erhöhten Zahl an infektiösen Metazerkarien in Weißfischen führt.

B. polymorphus wurde auch in Deutschland schon mehrfach nachgewiesen. ODE-NING (1978) führt beispielsweise für den Bereich der neuen Bundesländer als zweite Zwischenwirte bzw. Endwirte von *B. polymorphus* Kaulbarsch (*G. cernua*) und Cypriniden respektive Hecht (*E. lucius*), Zander (*S. lucioperca*) und Barsch (*P. fluviatilis*) an, auch in der Weser können mit *B. polymorphus* infizierte Zander (*S. lucioperca*) nachgewiesen werden (REIMER 2000).

In den Sommermonaten wiederkehrende Fischsterben im Main, denen vor Allem Rotaugen (*R. rutilus*), Brasseln (*A. brama*) und Barben (*B. barbatus*) zum Opfer fielen, konnten unter Anderem auf die Wirkung von *B.- polymorphus*- Zerkarien auf bereits geschwächte Fischbestände zurückgeführt werden (SCHÄFER & HOFFMANN 1985).

Untersuchungen an Kaulbarschen (*G. cernua*) und Zopen (*A. ballerus*) der unteren Oder ergeben, dass durchschnittlich 11 % der untersuchten Kaulbarsche mit *B. polymorphus* befallen sind, während die Zope nur in Ausnahmefällen Metazerkarien des genannten Trematoden aufweist (PIETROCK 1998). Der Autor erklärt die geringe Prävalenz der Zope mit den Lebensgewohnheiten dieses rheophilen Fisches, der aufgrund seiner Lebensweise im schnellfließenden Wasser im Vergleich zum Kaulbarsch, welcher eher in strömungsberuhigten Gewässerzonen angetroffen werden kann, kaum in Kontakt mit infektiösen Zerkarien gerät, da diese mit dem Wasserstrom davongetragen werden.

Auch bei Zandern (*S. lucioperca*) des Großen Haus-Sees in Brandenburg konnten adulte *B. polymorphus* nachgewiesen werden (POHL 1954). Obwohl der Autor irrtümlich eine differierende Anzahl an Kopfanhängen beschreibt und als ersten Zwischenwirte Teichmuscheln vermutet, ist die Zugehörigkeit der angetroffenen Parasiten klar ersichtlich.

Untersuchungen an Cypriniden aus Berliner und Brandenburger Gewässern ergeben, dass neben anderen Trematodenarten auch *B.- polymorphus*- Metazerkarien in

einer Vielzahl von Weißfischarten angetroffen werden können, wobei insbesondere der Ukelei (*A. alburnus*) ein sehr geeigneter Wirt für eine Vielzahl an Trematoden zu sein scheint. *Bucephalus polymorphus* konnte neben dem Ukelei auch in Plötze (*R. rutilus*), Rotfeder (*S. erythrophthalmus*) und Güster (*A. bjoerkna*) nachgewiesen werden (SCHUSTER et al. 1998).

Aufgrund der mitunter starken Ähnlichkeit einzelner Stadien von *B. polymorphus* mit anderen Vertretern der Bucephalidae, insbesondere *R. illense* (Syn. *R. campanula*), wurden ausgehend von befallenen Dreikantmuscheln zu Beginn der Untersuchungen die einzelnen Zyklusstadien des gesamten Lebenszyklus des angetroffenen Parasiten im Labor etabliert, um durch wissenschaftliche Beschreibungen aller Stadien eine eindeutige Artidentifizierung vorzunehmen.

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang, dass die untersuchten Mirazidien eine sehr charakteristische Morphologie aufwiesen. Im Gegensatz zu Mirazidien vieler anderer Trematodenspezies sind die untersuchten Tiere nicht am gesamten Körper mit Fortbewegungsorganen versehen, sondern bewegen sich mit Hilfe besenartig bewimperter Ruderarme fort (Abb. 4). Ein solcher Aufbau ist typisch für Vertreter der Bucephalidae (WILLIAMS & JONES 1994). Ein Schlupf der Wimpernlarven konnte in den vorliegenden Untersuchungen nur durch Verbringung der Eier in destilliertes Wasser ausgelöst werden. Nachteilig war hierbei, dass die Tiere bereits kurz nach dem Schlupf durch das osmotisch in ihren Körper eindringende Wasser ihre charakteristische Form und Größe verloren und teilweise platzten. Es gelang auch nach mehrmaligem Versuch nicht, Mirazidien unmittelbar nach ihrem Schlupf zuverlässig zu vermessen. Die im Vergleich mit den verbliebenen Eihüllen geschätzte ursprüngliche Größe der Mirazidien beträgt 10-20 µm, zur Differenzierung der einzelnen Bucephalidae-Arten untereinander reichen diese Werte nicht jedoch aus. Da die weiteren Untersuchungen auf die Zerkarie als das primär fischschädigende Entwicklungsstadium abzielten, sind weiterführende Untersuchungen an dieser Stelle unterlassen worden.

Nach dem Heranziehen adulter Trematoden aus mit Hilfe von infizierten Dreikantmuscheln (*D. polymorpha*) gewonnenen Zerkarien konnte aufgrund der charakteristischen Morphologie die Spezies zweifelsfrei bestimmt werden. Die vorliegenden Ergebnisse decken sich somit mit denen von BATURO (1977) gemachten Beobachtungen und Schlussfolgerungen zur Wirtsspezifität von *B. polymorphus*. In der Literatur

zu findende Angaben, nach denen *B. polymorphus* auch in weiteren Muschelarten wie *Anodonta* spp. beobachtet wurde, müssen nach den Ergebnissen von BATURO stark angezweifelt werden, zumal neueren Ausführungen zufolge eine eindeutige Artbestimmung bis in die zweite Hälfte des zwanzigsten Jahrhunderts nicht erfolgreich sein konnte, da im damals gebräuchlichsten Bestimmungsschlüssel (LÜHE 1909) die als *B. polymorphus* bezeichnete Spezies eindeutig als Abbildung von *R. campanula* erkennbar ist (TASKINEN et al. 1991).

5.2: Ermittelte Parasitenfauna der Fischzuchtanlage: Weitere Parasitenspezies

Neben *B. polymorphus* konnten weitere fischpathogene Parasitenarten in den untersuchten Fischarten der Anlage nachgewiesen werden. Insbesondere Schmarotzerspezies wie z.B. *Dactylogyrus* sp., *Gyrodactylus* sp., *Argulus* sp. und *Ergasilus* sp., welche im Ablauf ihres Lebenszyklus nur eine Wirtskategorie benötigen (Homoxenie), profitieren von der Artenarmut und der hohen Konzentration an Wirten in modernen Fischzuchtbetrieben. Entsprechend traten die genannten Arten auch im vorliegenden Fall auf. Es kann jedoch ausgeschlossen werden, dass die genannten Schmarotzer für die Mortalitäten in der Modellanlage verantwortlich zu machen sind, da die Intensitäten des jeweiligen Befalls vergleichsweise gering waren. Beispielsweise stellt ein Befall mit *Dactylogyrus* spp. hauptsächlich für ein- bis zweisömmerige Karpfen ein fischzüchterisches Problem dar. Je nach Spezies stellen 20-30 (*D. extensus*) bzw. 140-160 Exemplare (*D. vastator*) besorgniserregende Grenzwerte für 4 cm lange Karpfen dar (SCHÄPERCLAUS 1990). Im vorliegenden Falle hatten die untersuchten Speisekarpfen jedoch Körperlängen zwischen 29 und 35 cm und wiesen jeweils kaum mehr als maximal 10-20 Kiemensaugwürmer auf. Auch im Falle einer Gyrodactylose treten erst bei Massenbefall klinische Symptome zutage. Bei Intensitäten von bis zu 435.000 Exemplaren je Fisch wurden in der Vergangenheit erhebliche Verluste bei Speisekarpfen beschrieben (SCHÄPERCLAUS 1990), bei Karpfen des Modellbetriebes konnten jedoch nie mehr als wenige Dutzend Hautsaugwürmer beobachtet werden. Entsprechendes gilt für den Befall mit Doppeltierchen. *Diplozoon* sp. konnte bei der parasitologischen Untersuchung nur einmal beobachtet werden und ließ trotz seiner im Vergleich zum Kiemensaugwurm imponierenden Größe keinerlei Auswirkungen auf den parasitierten Karpfen erkennen.

Die Bedeutung parasitärer Krebstiere muss ebenfalls als untergeordnet betrachtet werden. Während ein schwerer Befall mit dem Kiemenkrebs *Ergasilus* sp. erhebliche Bedeutung in der Zucht von Speisefischen erlangen kann, konnten bei untersuchten Fischen wiederum nur geringe Intensitäten dieses Schmarotzers von bis zu 10-15 Stück je Fisch diagnostiziert werden. Vergleicht man dieses mit Angaben in der Literatur, bei denen erst das Auftreten von 3000 Exemplaren an den Kiemen einer Schleie mit einer Körpermasse von 400 g zu erheblicher Abmagerung führte (SCHÄPERCLAUS 1990), so wird deutlich, dass der vorliegende Befall nicht für die Verluste in der Fischzuchtanlage verantwortlich gemacht werden kann. Ähnliches muss für die wenigen beobachteten Exemplare der Karpfenlaus *Argulus* sp. gelten, von der gemäß herangezogener Literatur an einer Schleie mit 250 g Körpermasse 4250 Exemplare nachgewiesen wurden, ohne ersichtliche Schäden zu verursachen (SCHÄPERCLAUS 1990).

Zusätzlich wurden weitere heteroxene Schmarotzer detektiert, die jedoch vor allem aufgrund der relativ geringen Zahl an geeigneten ersten Zwischenwirten, welche bei mehreren Begehungen festgestellt wurde, eine untergeordnete Rolle spielen. Es konnten neben Trematoden zwei Arten von Bandwürmern nachgewiesen werden, wobei *Khawia* sp. als Adulter im Darm und *Paradilepis scolecina*, der als Adultus in Kormoranen schmarotzt, als Zyste in der Abdominalhöhle von untersuchten Karpfen zu beobachten war. Während die Larve von *P. scolecina* während der Körperwanderung Schäden in den durchwanderten Organen verursacht, ist der enzystierte Plerocercus reaktionslos. Auch der Befall mit maximal drei Exemplaren von *Khawia* sp. ist bei Speisekarpfen als unbedenklich einzustufen. Der für einsömmrige Karpfen genannte kritische Grenzwert beträgt 5- 10 Cestoden dieser Art (SCHÄPERCLAUS 1990).

Die für die Trematoden *Diplostomum* sp. und *Posthodiplostomum cuticola* notwendigen erste Zwischenwirte (*Lymnea* spp.; *Radix* spp.; *Planorbis* spp.) sind in der Halteanlage zwar vorhanden, und die für *Diplostomum* sp., *P. cuticola* und *H. triloba* als Endwirte fungierenden Möwen, Reiher bzw. Kormorane sind bei Begehung der Anlage ebenfalls gesichtet worden. Es ist folglich davon auszugehen, dass unter den gegenwärtigen Bedingungen neben dem durch *B. polymorphus* verursachten Krankheitsgeschehen auch weiterhin Infektionen mit weiteren Trematodenarten auftreten können, diese aufgrund der im Vergleich zur Anzahl an Dreikantmuscheln ver-

schwindend geringen Wirtsaufkommen jedoch von untergeordneter Bedeutung bleiben werden. Da des weiteren anzunehmen ist, dass in der Talsperre noch zahlreiche andere Parasitenspezies verbreitet sind, kann die Möglichkeit eines Befalls der Fische aus der Hälterungsanlage mit weiteren Parasitenarten nicht ausgeschlossen werden. Bei der Beurteilung der Parasitenfauna ist ebenfalls zu berücksichtigen, dass die in der Hälterung befindlichen Fische bereits beim Besatz der Anlage infiziert gewesen sein könnten und somit Parasiten aufweisen, welche aus anderen Lokalitäten stammen. Der Ablauf des Lebenszyklus aller nachgewiesenen Schmarotzer muss daher nicht notwendigerweise in der Anlage selbst erfolgen.

5.3 *Dreissena polymorpha* als erster Zwischenwirt von *B. polymorphus*

Der erste Zwischenwirt von *B. polymorphus*, die Dreikantmuschel *D. polymorpha*, kommt im Modellbetrieb und der oberhalb gelegenen Talsperre seit mehreren Jahren in größten Mengen vor. Teilbereiche der die Anlage versorgenden Rohrleitungen mussten nach Aussage der Betreiber in der Vergangenheit wiederholt von Muscheln befreit werden, da das enorme Wachstum der Dreikantmuschelpopulation den Wasserfluss in Rohren mit Durchmesser von z.T. 80 cm stark behinderte. Auch die Schieber am Fuße der Staumauer zur Regulierung der die Talsperre verlassenden Wassermengen mussten bereits aufwändig durch Taucher von den darauf siedelnden Dreikantmuscheln befreit werden, um die Funktion der Sperrvorrichtung wiederherzustellen (NEUMANN, Sächsische Talsperrenverwaltung, mündl. Mitt.).

Entfernte Muschelschalen lagern bei mehreren Begehungen zu mannshohen Hügeln aufgeschichtet auf dem Betriebsgelände der Fischzuchtanlage. Die untersuchten Muscheln waren zu annähernd 19 % mit Sporozysten von *B. polymorphus* durchsetzt und zeigen somit, dass sich der Trematode in der Hälterungsanlage stark etabliert hat. Es konnte neben *B.- polymorphus*- Sporozysten keine weitere parasitäre Infektion untersuchter Dreikantmuscheln diagnostiziert werden.

Sporozysten von *B. polymorphus* waren in der überwiegenden Anzahl der Fälle zunächst in den Gonaden der Muscheln zu finden. Die resultierende Sterilität scheint die Wirte nicht wesentlich zu beeinflussen, mäßig infizierte Exemplare sind weder wachstumsreduziert noch anderweitig auffällig. Bei starker Infektion waren weitere Organe infiltriert, so dass bei Sektion Sporozystenmaterial u.a. in der Schalenmuskulatur, den Verdauungsorganen und den Kiemen angetroffen wurde. Eine Beschrän-

kung der Infektion auf ein nicht lebenswichtiges Organ scheint von wesentlichem Vorteil für den Parasiten zu sein, da die resultierende Kastration für den Wirt nicht letal ist. Die Sporozysten können folglich in der infizierten Muschel mehrere Jahre überdauern und alljährlich Zerkarien produzieren, wie mittels des Überwinterungsversuchs belegt wurde. Die gemachten Beobachtungen decken sich zu großen Teilen mit den Ergebnissen von TASKINEN (1992). In Untersuchungen zum Befall der flachen Teichmuschel *Anodonta anatina* mit zwei Trematodenarten ist ebenfalls die Bevorzugung der Gonaden auffälligstes Infektionsmerkmal. Die Gonaden infizierter *A. anatina* waren zu 92 % respektive 100 % von Sporozysten der Trematoden *R. fennica* und *R. illense* (Syn. *R. campanula*) durchwachsen, während weitere Organe wie Nieren (79 und 99 %), Mantel (87 und 36 %), Kiemen (18 %) und Fuß (7 und 0 %) weitaus seltener befallen waren. Auch hier erklärt der Autor diese Besonderheit mit einer erworbenen Organselektivität des Parasiten zur weitest gehenden Schonung seines Wirtes.

Auffällig ist die mit 32 % stark erhöhte Befallsrate der nach Überwinterung untersuchten Dreikantmuscheln im Gegensatz zur Prävalenz von durchschnittlich 19 % in allen anderen untersuchten Gruppen. Im Gegensatz zu den in den Sommermonaten gemachten Untersuchungen konnte darüber hinaus keine Muschel mit schwerer Infektion gefunden werden. Aufgrund der niedrigen Temperaturen und des stark verlangsamt ablaufenden bzw. sistierenden Zyklus ist nicht von einer über die Wintermonate erfolgten neuerlichen Infektion der in den Sacrower See verbrachten Muscheln auszugehen. Der Muschelbehälter hing darüber hinaus mit 2-3 Metern Abstand zum Gewässerboden im Freiwasser, so dass geschlüpfte Mirazidien, die vorzugsweise am Grund nach ersten Zwischenwirten suchen, kaum Möglichkeit erhalten hätten, die Versuchstiere zu erreichen. Von den eingesetzten Muscheln waren im Umkehrschluss offensichtlich unterdurchschnittlich wenige der schwach befallenen Exemplare verstorben, während parasitenfreie Tiere den Winter durchschnittlich häufiger nicht überstanden hatten. Als Erklärung mag eine bessere Kondition schwach bis mäßig infizierter Dreikantmuscheln dienen. Durch einen Ausfall der Reproduktionsorgane kann die im Laufe des Jahres aufgenommene Energie ohne den für die Produktion von Geschlechtsprodukten benötigten Aufwand hypothetisch zum bevorzugten Aufbau von Energiespeichern genutzt werden, so dass betroffene Muscheln mit größeren Energie- und Fettdepots in die Wintermonate gehen. Der anfänglich limitierte Be-

fall der Gonaden durch *B. polymorphus* kann demzufolge als zusätzliche Anpassung des Parasiten an seinen ersten Zwischenwirt betrachtet werden.

Ein durch den Parasiten bedingtes Riesenwachstum, wie von anderen Autoren beschrieben (WILLIAMS & BRAILSFORD 1998), konnte in den vorliegenden Fällen nicht beobachtet werden. Ein Vergleich nicht infizierter Dreikantmuscheln mit einer infizierten Gruppe (Körpermasse 0,3 bis 4,9 g) ließ keinen Unterschied im Gewicht von infizierten und nicht infizierten Individuen erkennen (U- Test, $p = 0,52$, Daten nicht dargestellt). Es bleibt zu diskutieren, ob ein Zusammenhang zwischen Größe und Infektion durch ein postinfektiös verstärktes Wachstum verursacht werden kann oder ob ältere Muscheln naturgemäß größer und lediglich aufgrund ihres höheren Alters mit größerer Wahrscheinlichkeit als jüngere Artgenossen befallen sind, da sie bereits über mehrere Jahre in einem infektionsgefährdeten Umfeld leben. Eine vom Körpergewicht getrennte Altersbestimmung ist bei den vorgenommenen Untersuchungen unterlassen worden, da die Dreikantmuschel nicht Fokus des Forschungsvorhabens war. Zur endgültigen Klärung der genannten Fragestellung wäre ein Laborversuch mit Muscheln bekannten Alters sinnvoll.

Nach weiterem invasiven Wachstum der Sporozysten wird die Muschel durch einen fortschreitenden Ausfall von lebenswichtigen Organsystemen zunehmend funktionell geschwächt. Hochgradiger Befall konnte relativ selten beobachtet werden, so dass vermutet werden kann, dass stark befallene Dreikantmuscheln in Situationen mit erhöhten Anforderungen, zum Beispiel im Rahmen der nahrungsarmen Wintermonate, häufiger verenden als nicht oder gering parasitierte Exemplare. Ähnliche Ergebnisse liegen bei Untersuchungen zur flachen Teichmuschel *Anodonta anatina* vor (TASKINEN 1992). Auch hier ist eine Häufung schwach bis mäßig mit Trematodenstadien befallener Muscheln zu erkennen, welche sich in der wärmeren Jahreszeit zügig zu mittleren und schweren Infestationen entwickeln, da die vorhandenen Sporozysten ausgeprägtes Längenwachstum zeigen und umliegendes Gewebe infiltrieren. Erneute Untersuchungen zum Winter zeigen, dass der Anteil schwerer Infektionen zu dieser Jahreszeit wieder zurückgeht. Der Autor erklärt dies mit der verminderten Kondition stark infestierter Muschelwirte.

Die starke Durchseuchung der Bestände des ersten Zwischenwirtes führt dazu, dass in der warmen Jahreszeit fortwährend große Mengen an Zerkarien produziert werden, die zur Infektion der gehälterten Fische und nachfolgend zu ökonomischen Verlusten im Modellbetrieb führen. Während eine Ermittlung der durchschnittlichen An-

zahl der durch eine Dreikantmuschel ins Freiwasser entlassenen *B.- polymorphus*-Zerkarien im vorliegenden Forschungsprojekt unterlassen wurde, reichen vergleichbare Angaben in der Literatur von 100 bis 300 (*R. illense*) bis zu 9500 (*R. fennica*) freigesetzten Zerkarien aus einer einzigen Muschel pro Tag (BATURO 1977; TASKINEN et al. 1991). Es ist wahrscheinlich, dass der Ausstoß von *B.- polymorphus*-Zerkarien aus der Dreikantmuschel ähnlich hoch sein wird.

Die ermittelte Prävalenz der *B.- polymorphus*- Infektion von Dreikantmuscheln im Modellbetrieb lag bei durchschnittlich 18,6 %. Vergleichbare Untersuchungen zum Trematodenbefall von Mollusken liegen u.a. von LOY und HAAS (2001) vor. In verschiedenen Schneckenarten aus Teichen des süddeutschen Raumes wurden durch genannte Autoren maximale Befallsraten zwischen 0,17 und 18,6 % festgestellt. ZANDER (1998) erwähnt für den *Haematoloechus-complexus*- Befall in *Physa* sp. (Mollusca) Prävalenzen von 5-7 %. Im Vergleich mit den aufgeführten Untersuchungen anderer Autoren sind die Befallsraten der Dreikantmuschel in der Hälteranlage daher als relativ hoch einzustufen.

Die weitere Entwicklung dieses Wirt- Parasit- Verhältnisses ohne Ergreifung von Gegenmaßnahmen lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt kaum abschätzen. Da die Hälterungsanlage im Durchflussverfahren betrieben wird, werden mit dem Zulaufwasser fortwährend auch Trematodeneier und Mirazidien eingeschleppt, die potenziell zur Erhöhung der Befallsrate der bereits vorhandenen *D. polymorpha* führen. Durch die natürliche Vermehrung dieser bereits in der Anlage etablierten Muscheln sowie durch den zusätzlichen Eintrag von Dreikantmuschel-Larven über das zugeführte Wasser werden sich die Abundanzen der Muschelpopulation in der Anlage voraussichtlich ebenfalls weiter erhöhen. Das verstärkte Vorkommen an Dreikantmuscheln wird den Ablauf des Parasitenzyklus begünstigen, da die Wirtsfindung deutlich erleichtert wird. Insgesamt ist daher eher eine Zunahme der Zerkarienproduktion zu erwarten, welche bei Nichtergreifung von geeigneten Gegenmaßnahmen nur durch die parasiteninduzierte erhöhte Mortalität der Dreikantmuschel etwas abgemildert werden dürfte.

Es ist davon auszugehen, dass nicht der hohe Trophiegrad der Talsperre, sondern das fortschreitende Erobern der Talsperre als neuen Lebensraum durch *D. polymorpha* die eigentliche Ursache für das Verlustgeschehen in der Fischzuchtanlage darstellt. Für die Bedeutung der Dreikantmuschel spricht, dass die Talsperre

bereits in der Vergangenheit einen hohen Trophiegrad aufwies, ohne dass ähnliche parasitäre Krankheitsausbrüche im Modellbetrieb zu beobachten gewesen wären. Hinzu kommt, dass gerade in jüngerer Vergangenheit, in der sich die Parasitose deutlich zeigt, der Eintrag von Phosphor in die Talsperre sogar etwas vermindert werden konnte (NEUMANN, Sächsische Talsperrenverwaltung, mündl. Mitt.). Erst eine manifeste Besiedlung der Talsperre durch die Dreikantmuschel *D. polymorpha* als direkte Folge der angetroffenen hohen organischen Belastung des Gewässers führte zu der beschriebenen Parasitose.

Natürlich stellt das hohe Aufkommen an organischen Stoffen weiterhin einen grundlegenden Faktor für das Aufkommen großer Muschelbestände dar und muss zwangsläufig als ursächlicher Faktor für das Aufkommen der Zerkarienproblematik in abschließende Überlegungen einfließen.

5.4 Nutz- und Wildfische als zweite Zwischenwirte von *B. polymorphus*

Durch *B. polymorphus* ausgelöste Mortalitäten unter Weißfischen sind bereits in der Literatur beschrieben worden. BATURO (1978) wies nach, dass 10 invadierende Zerkarien ausreichend sind, um Fischlarven mit einer Körperlänge von 8-11 mm innerhalb von 30 Minuten zu töten. Histopathologisch ließen sich in verschiedenen Organen und Geweben durch das Eindringen und die Wanderung der Larven u.a. Hyperämien, Hämorrhagien, Ödeme sowie Nekrosen und Geschwüre nachweisen. Im Gegensatz zum Trematoden *R. illense*, welcher vom Fisch oral aufgenommen wird und dessen Metazerkarien folglich primär in der Kopfregion der Wirtsfische nachweisbar sind, werden im internationalen Schrifttum Metazerkarienstadien von *B. polymorphus* vornehmlich in der Haut und Muskulatur des Wirtsfisches beschrieben (POHL 1954; BATURO 1978; WIERZBICKA 1982; SCHÄFER & HOFFMANN 1985; TASKINEN 1992; SCHUSTER et al. 1998).

Im vorliegenden Fall scheint jedoch der Befall der Kiemen mit *B. polymorphus* einen Großteil der Problematik auszumachen. Insbesondere bei Regenbogenforellen war die überwiegende Anzahl der enzystierten Metazerkarien nicht in Haut, Flossen und Muskulatur, sondern in den Kiemenlamellen lokalisiert. Eine große Anzahl von bis zu einem halben Millimeter großen weißen Punkten war bei Adspektion der Kiemen unter dem Stereomikroskop bereits bei kleinen Vergrößerungen auszumachen. Stärkere Magnifikationen ließen die in ihrer Zystenhülle liegende Metazerkarie beim unbehandelten Präparat erkennen (Abb. 21). Je nach Anzahl der in den Kiemen vorhan-

denen Metazerkarien stehen mehr oder weniger große Anteile der Kiemenoberfläche aufgrund der bedingten Dickenzunahme und der damit einhergehenden eingeschränkten Diffusionsleistung für den Gasaustausch nicht mehr zur Verfügung, was die beobachtete klinische Hypoxie erklären mag (s.u.). Zusätzlich können bereits einzelne Metazerkarien bei entsprechender Lage funktionelle Kiemenstrukturen wie zu- und ableitende Gefäße der Primärlamellen komprimieren oder verlegen, so dass trotz einer vergleichsweise geringen Zahl an vorhandenen Metazerkarien durch die Behinderung des Blutflusses größere Teile der Kiemen ihre Funktion nicht erfüllen können.

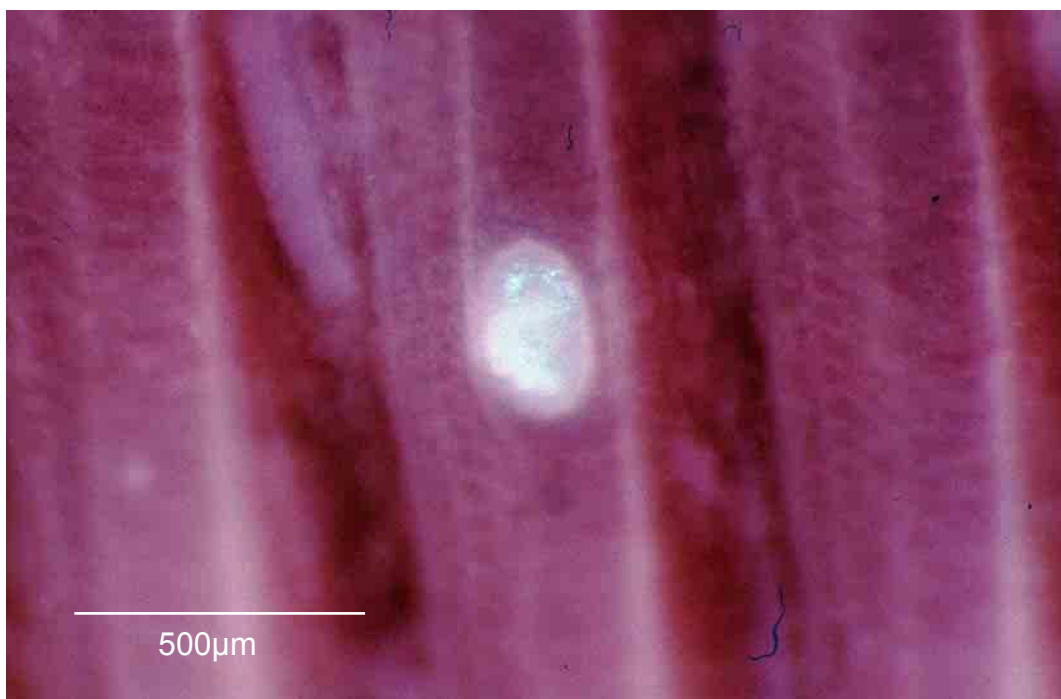


Abb. 21: Verdrängung funktioneller Kiemenstrukturen durch eine Metazerkarie von *B. polymorphus*; Kieme, *Abramis brama*, nativ

Während untersuchte Cypriniden keinerlei auffälliges Verhalten zeigten und durchaus in der Lage waren, dem Kescher durch explosive Fluchten zu entgehen, schwammen untersuchte Regenbogenforellen mit abgespreizten Kiemendeckeln und weit geöffnetem Maul langsam an der Oberfläche der Rundbecken, wo sie sich größtenteils ohne Probleme fangen ließen. Die Kiemen der im Rahmen der Freilandversuche untersuchten Forellen trugen im Mittel das 100- bis 400-fache an Metazerkarien der untersuchten Karpfen. Diese Differenzen sind u.U. durch eine artspezifische

Kiemenstruktur, hervorgegangen aus der unterschiedlichen Lebensweise der beiden Fischarten zu erklären. Der Karpfen geht gewöhnlich in Bodennähe auf Nahrungssuche und nimmt dabei große Mengen Schlamm und anderes Substrat in die Mundhöhle auf, durchmustert dieses und entlässt nicht verwertbare Bestandteile anschließend über die Kiemenspalten. Entsprechend verfügt der Karpfen über widerstandsfähige Kiemen, während die Forelle im Freiwasser jagt und ihre Kiemen an klares, sauberes Wasser angepasst sind. Es ist denkbar, dass ihre Schleimhäute im Vergleich dünner sind, um ein Höchstmaß an Gasdiffusion für den schnellen und sauerstoffzehrenden Schwimmstil des Räubers zu ermöglichen. Hypothetisch erleichtern die weniger ausgeprägten Schutzmechanismen das Eindringen der Zerkarien in das Kiemengewebe der Regenbogenforellen. Die parasitär bedingte Verringerung der Diffusionsoberfläche ist für die untersuchten Karpfen trotz der im Sommer gemessenen geringen Sauerstoffwerte von zum Teil 4,4 mg/l mehrheitlich gut vertragen worden, während solch geringen Sauerstoffmengen für Regenbogenforellen, auch bei nicht verringerter Kiemenoberfläche, bereits unterhalb des Optimalbereichs von 7-30 mg/l liegen (SCHRECKENBACH et al. 1987). Die weitere Verringerung der funktionellen Kiemenoberfläche in Verbindung mit den geringen gelösten Sauerstoffmengen führte aufgrund einer chronischen Hypoxie zu den beschriebenen Verlusten.

Nach BAUER (1987) sind bisher mehr als 20 Fischarten v.a. aus der Familie Cyprinidae bekannt, in denen sich eingedrungene Zerkarien zum nächsten Entwicklungsstadium (Metazerkarie) weiterentwickeln. Die Rolle von Plötze (*R. rutilus*), Rotfeder (*S. erythrophthalmus*), Ukelei (*A. alburnus*), Brasse (*A. brama*), Güster (*A. bjoerkna*), Schleie (*T. tinca*), Gründling (*G. gobio*), Kaulbarsch (*G. cernua*), Flussbarsch (*P. fluviatilis*), Nase (*C. nasus*), Döbel (*L. cephalus*), Zope (*A. ballerus*), Hasel (*L. leuciscus*), Barbe (*B. barbus*), Zobel (*A. sapa*) und Graskarpfen (*C. idella*) als zweite Zwischenwirte von *B. polymorphus* ist mehrfach belegt (ERGENS et al. 1975; BATURO 1977, 1978, 1980; WIERZBICKA 1982; POJMANSKA 1985; PIETROCK 1998) und konnte für die untersuchten Fischarten auch in den vorliegenden Studien bestätigt werden. Die durchgeführten Infektionsversuche mit verschiedenen Nutz- und Wildfischen verfolgten das Ziel, die Empfindlichkeit verschiedener Arten gegen *B. polymorphus*- Invasionen zu testen und daraus Ideen für künftige Besatz- und/ oder Bekämpfungsmaßnahmen in der Fischzuchtanlage und Talsperre zu gewinnen. Im Verlaufe der Infektionsversuche sind leider vermehrt Verluste aufgetreten,

die auf eine Reihe verschiedener Faktoren zurückzuführen waren. Zum einen stellen Umsetzen und Handling stets erhöhte Anforderungen an den Fischorganismus und rufen trotz aller Vorsicht beim Umgang mit den Tieren physiologische Reaktionen hervor, die in Stressantworten münden können (HAMERS & SCHRECKENBACH 2002). Die Infektion der Fische durch *B.- polymorphus*- Zerkarien ist als weiterer Stressor zu werten, welcher entsprechende Reizantworten provoziert. Darüber hinaus waren während der Durchführung des zweiten Infektionsversuches mit Karpfen und Regenbogenforellen Wassertemperaturen von 26°C zu verzeichnen, welche insbesondere für Regenbogenforellen weit außerhalb ihres Optimalbereiches liegen (SCHRECKENBACH et al. 1987). Es ist davon auszugehen, dass diese ungünstigen Umweltbedingungen den Fischen ebenfalls erhebliche Anpassungsleistungen abverlangten. Die Bewältigung dieser enormen Stresssituation durch wenigstens drei belastende Faktoren überforderte offensichtlich zahlreiche Versuchsfische und führte zu deren Tod. Trotz der aufgetretenen Verluste spiegelten die ermittelten Ergebnisse das Befallsgeschehen in der Fischhälterungsanlage recht gut wider. Die experimentell infizierten Fische zeigten generell eine unterschiedliche Empfänglichkeit für eine Infektion mit *B. polymorphus*- Zerkarien. Während Güstern und Plötzen hohe Befallsraten und geringe Mortalitäten aufwiesen, konnte die Regenbogenforelle anhand der hohen Mortalitäten trotz geringerer parasitärer Dichten als hoch empfindliche Spezies identifiziert werden.

Interessanterweise gelang bei keinem der untersuchten Barsche ein Nachweis von Metazerkarien. Dies steht in direktem Gegensatz zur Literatur, die sehr wohl Beschreibungen von *B.- polymorphus*- Metazerkarien in Haut und Muskulatur von Flussbarschen liefert (ERGENS et al. 1975). Als Erklärung könnte die sehr widerstandsfähige Haut und das feste Ctenoid- Schuppenkleid der Barsche dienen, welche für Zerkarien hypothetisch nur mit erheblichen Mühen durchdringbar ist. Ein Zeitrahmen von maximal acht Stunden mag zur erfolgreichen Infektion der Barsche mit Zerkarien deshalb relativ kurz bemessen sein, während wildgefangene Barsche aus einem mit Zerkarien belasteten Gewässer aufgrund der monate- oder sogar jahrelangen Exposition deutlichere Infektionen aufweisen.

Die ausgebliebene Infektion der im zweiten Versuch verwendeten Karpfen ist, wie in den Freilandversuchen nachgewiesen, vermutlich nicht auf eine Immunität des Karp-

fens bezüglich *B. polymorphus*- Infektionen zurückzuführen, sondern auf einen zu geringen Infektionsdruck während des Experiments. Da aufgrund der hohen Temperaturen der zweite Versuch als dynamischer Test durchgeführt werden musste, wurde vermutlich ein Grossteil der Zerkarien durch den kontinuierlichen Wasseraustausch aus dem Rundbecken getragen, ohne zuvor einen der gehälterten Fische zu infizieren. Ferner könnte ein aufgrund äußerer Umstände verminderter Parasitenausstoß durch infizierte Dreikantmuscheln am Versuchstag oder eine unterschiedliche Infektiösität der Zerkarien zu verschiedenen Zeiten Ursache des ausgebliebenen Infektionserfolges des zweiten Versuchs sein.

5.5 Raubfische als Endwirte von *B. polymorphus*

Die Infektion der in der Kreislaufanlage des IfB gehälterten und mit infizierten Fischen gefütterten Zander (*S. lucioperca*) gelang problemlos. In allen Fischen, denen infektiöses Material verfüttert wurde, ließen sich im Anschluss adulte bzw. gravide Saugwürmer nachweisen, deren Eier nachfolgend in anderen Untersuchungen verwendet werden konnten. Die Ausführungen von KÖRTING (1992), nach denen Zander als Endwirte von *B. polymorphus* fungieren, wurden somit bestätigt. Der Zander ist nach Aussage der Betreiber der Fischzuchtanlage in der Talsperre neben dem Barsch (*P. fluviatilis*) die häufigste Raubfischart und wurde auch bei Beprobungen der Zulaufgräben der Anlage beobachtet. Es ist daher davon auszugehen, dass der Zander ein wesentliches Parasitenreservoir darstellt und durch Ausscheidung der Trematodeeier an der Einleitung des Parasitenzyklus in die Modellanlage beteiligt ist.

Im Gegensatz zum Zander konnte bei keinem der Flussbarsche eine erfolgreiche Infektion mit *B. polymorphus* diagnostiziert werden, obwohl diese wiederholt bei der Aufnahme von infiziertem Kiemen- und Muskelgewebe beobachtet werden konnten. Da die Rolle des Flussbarsches als Endwirt von *B. polymorphus* unbestritten ist (PUCILOWSKA 1969; ERGENS et al. 1975; ODENING 1978; POJMANSKA 1985), ist eine Erklärung dieses Umstandes möglicherweise in der untergeordneten Bedeutung des Barsches für den Lebenszyklus von *B. polymorphus* zu suchen: POJMANSKA (1985) konnte bei Untersuchungen zum Parasitenbefall von Barsch (*P. fluviatilis*), Hecht (*E. lucius*) und Zander (*S. lucioperca*) aus vier Seen Polens zeigen, dass die *B. polymorphus*- Prävalenzen zwischen den Raubfischen stark variierten. Während Zander durchschnittlich am häufigsten befallen waren (85,7 %), wiesen

weniger als ein Viertel aller seziierten Barsche (13,1 %) und weniger als ein Zehntel (7,1 %) der untersuchten Hechte erwachsene *B. polymorphus* auf. Auch die Intensität des Befalls war mit maximal 3860 angetroffenen Adulti beim Zander am höchsten, während bei Barsch und Hecht maximal 239 bzw. 2000 Exemplare gezählt wurden.

Die genannten Zahlen belegen, dass Barsch und Hecht zwar als Endwirt des Trematoden in Frage kommen, aber für diese Rolle weit weniger geeignet sind als der Zander, der im Vergleich häufigeren und stärkeren Befall zeigt. Die Zahl der im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes untersuchten Barsche ist zu gering, um konträre Aussagen zu seiner Eignung als Endwirt zu treffen. Untersuchungen zur Empfänglichkeit weiterer in der betroffenen Talsperre lebender Raubfische gegenüber *B. polymorphus* wären vorteilhaft, um das Spektrum an *B.- polymorphus*- geeigneten Endwirten vollständig zu erfassen.

5.6 Laboruntersuchungen

5.6.1 Bekämpfung von Parasiten mittels Wassersturz

Die im Rahmen der Laboruntersuchungen gewonnenen Daten zu den Auswirkungen mechanischer Kräfte auf das Überleben von *B.- polymorphus*- Zerkarien zeigen, dass durch Aufprall von Parasiten innerhalb eines Wasservolumens auf ebene Flächen pathogene Effekte erzielt werden können. Die Parasiten werden aufgrund der plötzlich einwirkenden negativen Beschleunigung, verbunden mit einer Änderung der Bewegungsrichtung starken Scherkräften ausgesetzt, die vor Allem ein Abreißen der zum Schwimmen und Schweben in der Wassersäule sowie zur Anheftung an den Wirtsfisch benötigten Schwanzanhänge bewirken. Auch wenn ein erfolgreicher Befall von Fischen, der durch Wirtswahrnehmung, Anheftung, Penetration, Wanderung zum Targetorgan und Weiterentwicklung zur Metazerkarie gekennzeichnet ist, theoretisch auch ohne Schwanzanhänge möglich bleibt, ist doch die Beweglichkeit geschädigter Parasiten stark eingeschränkt und eine verminderte Anheftungsrate an den Wirt zu erwarten, so dass auch eine bloße Verletzung der Zerkarien als partieller Behandlungserfolg zu werten ist, der zur Reduzierung der Infektiösität beiträgt.

Bereits ein Dekantieren aus 36 cm Höhe verursachte tote und verletzte Individuen bei den untersuchten Parasitenlarven. Eine Ausweitung der Fallhöhe erhöht den Anteil toter beziehungsweise verletzter Parasiten weiter. Die zu beobachtende Zunah-

me nicht mehr auffindbarer Parasitenlarven im durchmusteren Wasservolumen lässt sich hypothetisch durch das mit zunehmender Fallhöhe vermehrte Herausspritzen von Wassertropfen und der darin enthaltenen Parasiten aus dem Auffanggefäß erklären. Da keine sichere Aussage über den körperlichen Zustand (tot/ verletzt/ unverletzt) der nicht wieder auffindbaren Zerkarien gemacht werden konnte, wurde für die Bestimmung der Konfidenzintervalle die Anzahl der nicht wieder auffindbaren Zerkarien von der Anzahl der verwendeten Zerkarien des jeweiligen Versuchs (je 60) abgezogen, um diesen Unsicherheitsfaktor zu eliminieren (Tab. 9). Die zum Teil widersprüchlichen Ergebnisse, die trotz einer größeren Fallhöhe eine geringere Anzahl erfolgreich behandelter Parasiten aufzeigen, werden unter Umständen durch die aufgrund des geschilderten Procederes verminderte Anzahl an gewerteten Probanden, insbesondere bei der Fallhöhe 200 cm, verursacht.

Tab. 9: Konfidenzintervalle der einzelnen Wassersturzversuche bei $p = 0,95$

Fallhöhe in cm	36	100	150	200	3 x 200
Anzahl Zerkarien	51	53	49	39	43
Tote/ verletzte Zerkarien nach Versuchsdurchführung	14	32	29	14	33
Theta	0,26	0,60	0,59	0,36	0,77
Untere Grenze	0,15	0,46	0,44	0,21	0,61
Obere Grenze	0,40	0,73	0,73	0,53	0,88

Der mechanischen Bekämpfung von Zerkarien ist in der Literatur bisher kaum Aufmerksamkeit geschenkt worden, die Anwendung von Prallflächen kann daher als neuartige Bekämpfungsstrategie gewertet werden. Es wurde in den durchgeführten Laborversuchen gezeigt, dass zumindest Zerkarien von *B. polymorphus* durch einen Aufprall auf eine harte, ebene Fläche abgetötet oder verletzt werden können. Auch der bloße Verlust der Schwanzanhänge bewirkt sehr wahrscheinlich eine Verminderung der Infektiosität betroffener Zerkarien. Inwieweit die vorliegenden Ergebnisse auf Zerkarien anderer Trematodenarten übertragen werden können, ist ungewiss. Es ist denkbar, dass Zerkarien, deren Körper und insbesondere Schwanzanhänge kom-

pakter und widerstandsfähiger aufgebaut sind, angreifenden Scherkräften geringere Ansatzmöglichkeiten bieten und demzufolge eine mechanische Behandlung vergleichsweise besser überstehen. Beispielsweise haben viele Zerkarien, die von ihren zweiten Zwischenwirten oral aufgenommen und im Anschluss Gefahr laufen, verdaut zu werden, entsprechende morphologische Anpassungen entwickelt. Die Zerkarien von *Derogenes varicus* sind in der Lage, sich in eine Aussparung an der Basis ihres Schwanzes zurückzuziehen, um den Verdauungssäften zu entgehen (WILLIAMS & JONES 1994). Es ist offensichtlich, dass derart geschützte Zerkarien auch durch mechanische Insulte weit weniger zu verletzen sein werden als die im Vergleich filigrane *B.- polymorphus*- Zerkarie.

Es ist erwiesen, dass Zerkarien auf mechanische Reize (z.B. Druckwellen, verursacht durch vorüberschwimmende Fische) mit vermehrten Schwimmbewegungen reagieren (HAAS 1974a). Obwohl Zerkarien von *D. spathaceum* auch spontan Schwimmstöße von insgesamt 2-8 mm Länge starten, beantworten sie mechanische Reize mit vorzeitiger, gesteigerter Schwimmaktivität. Die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Anheftung an ein angebotenes Substrat bei anschließender Berührung erhöht sich bei induzierten Schwimmstößen erheblich. Da Zerkarien als reine Übertragungsstadien keine Möglichkeit haben, Energievorräte durch Nahrungsaufnahme im Freiwasser aufzufüllen und deshalb auf ihre innerhalb der ersten Zwischenwirte erworbenen Glykogen- und Fettspeicher angewiesen sind, bewirkt eine erhöhte Aktivität ein vorzeitiges Aufbrauchen ihrer Energiereserven, eine Verringerung ihrer Lebensdauer und somit eine Verkürzung der Infektionsperiode (GRACZYK & FRIED 2001). Es kann gefolgert werden, dass selbst schwache mechanische Reize, welche nicht zur morphologischen Schädigung von Zerkarien führen, zur Reduzierung ihrer Lebensdauer verwendet werden könnten.

5.6.2 Bekämpfung von Parasiten mittels Ultraschall

Die im Labor durchgeführte Bekämpfung von *B.- polymorphus*- Zerkarien mit Hilfe von Ultraschall führte in sämtlichen durchgeführten Versuchen zur Reduzierung der Anzahl lebender Parasiten um über 50 %.

Durch den sich schnell auf- und ab- bewegenden Schallkopf (Sonotrode) entstehen im umgebenden Medium in schneller zeitlicher Folge abwechselnd Zonen mit sehr hohem und geringem Druck. Geringe Drücke führen durch ein Zerreißen des Was-

sers zur Bildung sogenannter Kavitationsblasen, die in ihrem Inneren ein Vakuum enthalten. Bei einer erneuten Erhöhung des Druckes fallen diese Vakuumbblasen unter hohen lokalen Beschleunigungskräften und starker Temperaturänderung zusammen und zerreißen dabei naheliegendes Gewebe (www.hielscher.com). Dies führt bei betroffenen Zerkarien zur Punktion bzw. kompletten Zerstörung der Körperhülle. Im Gegensatz zu den nicht mehr auffindbaren Zerkarien der Wassersturzversuche waren in diesem Falle nach der Exposition nicht mehr zählbare Zerkarien nicht verloren gegangen, sondern durch die Schalleinwirkung nahezu vollständig zerrissen worden, so dass sie in den Testgefäßen nur noch als Gewebstrümmer nachweisbar waren. Entsprechend wurden im Gegensatz zu den Wassersturzversuchen nicht mehr auffindbare Zerkarien innerhalb dieser Versuchsreihe als zerstörte und damit als erfolgreich behandelte Parasiten bewertet.

In Versuch Nr. 3 (105,7 W, 3 s), gefolgt von den Versuchen 4 (64,9 W, 3 s) und Versuch 7 (96,8 W, 2 s), wurde der höchste prozentuale Anteil erfolgreich behandelter Parasitenlarven erzielt (60, 57 bzw. 53 von jeweils 60 Zerkarien). Es ist hierbei allerdings anzumerken, dass diese guten Resultate durch einen vergleichsweise hohen Energieeintrag erkauft wurden (siehe Abb. 18). Versuch 1 (59,6 W, 3 s) und Versuch 8 (91,5 W, 1 s) brachten mit Mortalitäten von etwa 85 % (je 52 von 60 Zerkarien) noch akzeptable Ergebnisse bei gleichzeitig moderatem Energieaufwand hervor. Setzt man zur Einschätzung einer Effektivität der Ultraschall-Behandlung den spezifischen Energieeintrag in Beziehung zum Quotienten aus der Anzahl der verwendeten Zerkarien ($n = 60$) und der Zahl an getöteten und vollständig zerstörten Parasiten zum Versuchsende, dann weist Versuch 8, gefolgt von Versuch 2 und Versuch 5, das effektivste Ergebnis auf. Die zugehörigen Mortalitätsraten liegen jedoch mit 86,6 %, 75,0 % und 71,6 % zum Teil deutlich unter einem angestrebten hocheffektiven Therapieerfolg von ≥ 90 %.

Wird der spezifische Energieeintrag in Versuch 8, 2 und 5 allerdings in Beziehung zum Quotienten aus der Anzahl der verwendeten Zerkarien ($n = 60$) und der Anzahl der jeweils getöteten, vollständig zerstörten und *zusätzlich aller moribunden Parasiten* gesetzt, beträgt der Anteil erfolgreich behandelter Parasiten am jeweiligen Stichprobenumfang 91,6 %, 95,0 % und 78,3 %. Allerdings muss eine theoretische Restinfektiösität aller nicht sofort getöteten, sondern lediglich verletzten und moribunden Zerkarien bedacht werden.

Der Einsatz von Ultraschall mit dem Ziel der Erregerprophylaxe ist ausführlich von KAMENSKIJ (1970) beschrieben worden. Im Rahmen der damaligen Untersuchungen wurden Eier, Mirazidien und Zerkarien der den sogenannten Wurmstar auslösenden Trematoden *D. spathaceum* und *Tylodelphys clavata* erfolgreich mit Ultraschall bekämpft, wobei bei Frequenzen von 50 Hz bis 1 kHz Leistungen von 20 - 50 W/ cm² über einen Anwendungszeitraum von 3 s zum Einsatz kamen. Die eingebrachte Energie liegt damit etwa zwei Zehnerpotenzen über den entsprechenden Energiemengen der vorliegenden Versuche zur Bekämpfung von *B.- polymorphus*-Zerkarien (Tab. 3). Dies lässt sich vermutlich durch die technischen Verbesserungen der Ultraschallanwendung erklären, welche im Verlauf der letzten 30 Jahre die Überführung von elektrischer Energie in Schallwellen stark verbessern und somit geringere Energieaufwendungen ermöglichen konnte. Neben den Trematodenstadien wurden von KAMENSKIJ (1970) auch potenzielle Parasitenwirte wie Kleinkrebse und Daphnien erfolgreich abgetötet, Zwischenwirtsschnecken sind aufgrund ihrer festen Schale jedoch vor Insulten gut geschützt und kaum durch Ultraschall zu verletzen. Auch Zerkarien des Trematoden *Nanophyetus salmincola* konnten durch die Anwendung von Ultraschall mit einer Leistung von 3 W/ cm² erfolgreich bekämpft werden. Ein Aquarium mit 25 infizierten Zwischenwirtsschnecken der Spezies *Oxytrema sillicula* wurde zu Versuchszwecken über ein Rohr mit einem ca. 140 l fassenden Aquarium verbunden, in dem 10 nicht infizierte Steelhead- Forellen (*O. mykiss*) mit Körperlängen von 5 bis 7 cm gehalten wurden. Wurde das vom Schnecken- Aquarium durch das Rohr in das Forellen- Aquarium fließende Wasser (ca. 8 l/ min) nicht behandelt, so starben innerhalb der ersten 25 h zwei der Versuchsfische. Nach fünf Tagen konnten bei allen verbleibenden Forellen Metazerkarien von *Nanophyetus salmincola* nachgewiesen werden. Wurde das dem Forellenbecken zugeführte Wasser jedoch zuvor mit Ultraschall der o.a. Leistung behandelt, so wurden keine Verluste beobachtet und es waren nach fünf Tagen alle Versuchsfische frei von Parasiten (FARRELL et al. 1973).

5.6.3 Bekämpfung von Parasiten mittels UV-C

Eine Schädigung von *B.- polymorphus*- Zerkarien durch eine Exposition mit UV-C-Strahlung war weit schwieriger zu belegen als die durch mechanische Kräfte verursachte Beeinflussung während der Wassersturz- und Ultraschallversuche. Während

Verletzungen bei letzteren Untersuchungen im Moment der Behandlung gesetzt wurden und deren Effekte sofort im Anschluss erkennbar waren, beruht die Wirkung der UV-Strahlung auf einer Behinderung der Zellteilung und des Zellstoffwechsels durch Unterbindung des korrekten Auslesens der Erbinformation (www.wedecouv.de). Während die Körperfunktionen direkt nach einer Bestrahlung zunächst unverändert scheinen, werden diese durch Einschränkung diverser StoffwechsellLeistungen (insbesondere der Proteinsynthese) und einer unterbleibenden Zellteilung und entsprechenden Organverjüngung im weiteren Verlauf zunehmend kompromittiert. Die Erkennung einer erfolgten Schädigung bestrahlter Zerkarien ist also erst mit fortschreitender Zeit möglich. Entsprechend wurde versucht, anhand der Bewegungsaktivität der Zerkarien vor und nach erfolgter Bestrahlung Aussagen über deren Schädigung zu treffen. Alternativ ließe sich die gesamte Lebensdauer der Tiere beobachten, um den Zeitpunkt des Todes zu bestimmen und Rückschlüsse auf einen Einfluss der Behandlung zu gewinnen. Dieses Verfahren ist jedoch weitaus zeitaufwändiger und gibt ebenfalls nur bedingt Aufschluss über die Infektiösität der untersuchten Zerkarien, so dass dem oben genannten Verfahren der Vorzug gegeben wurde.

Die Verwendung von ultraviolettem Licht zeigte unter Laborbedingungen variierende Ergebnisse. In der Tendenz war festzustellen, dass der Einsatz von UV-Licht innerhalb von 45 Minuten zu einer Aktivitätsänderung der Parasiten führte. Während der Unterschied der Aktivitätsänderung der Gruppe 1 zur Kontrollgruppe statistisch nicht belegbar war ($p=0,8$, U-Test), verursachte die Einwirkung der UV-Strahlen über einen Zeitraum von 20 s und 30 s (Gruppe 2 und 3) eine tendenziell signifikante Reduktion der Anzahl vollständiger Kontraktionen je Minute im Vergleich zur Kontrollgruppe ($p= 0,06$ bzw. $0,1$, U-Test).

Auffällig ist, dass die Aktivitätsminderung der einer mittleren Strahlungs-dosis ausgesetzten Zerkarien (Gruppe 2, 20 s) ausgeprägter ist als die der anderen Gruppen. Die Ursache dieser Auffälligkeit lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht klären. Es ist denkbar, dass die Parasiten auf unterschiedliche Intensitäten eines Reizes in verschiedener Weise antworten: Geringere Strahlenmengen könnten die Erbinformation hypothetisch schädigen, ohne dass spezifische Reparationsmechanismen aktiviert werden. Bei höheren Belastungen könnte die Initialschädigung zwar stärker sein, eine dabei induzierte Fehlerbehebung durch zellkerneigene Enzyme könnte diesen Effekt jedoch zu großen Teilen annullieren, so dass trotz stärkerer Bestrahlung weni-

ger zellpathogene Effekte auftreten könnten. Es ist darüber hinaus auch nicht auszuschließen, dass die aufgewandten Bestrahlungsintensitäten von 950 - 2850 J/ m² zu gering waren, um innerhalb des Beobachtungszeitraumes signifikante Reaktionen auszulösen.

Der Einsatz ultravioletten Lichts ist in der Aquaristik und der fischereilichen Praxis weit verbreitet. Das behandelte Erregerspektrum umfasst dabei u.a. Bakterien, Pilze, Protozoen und metazoische Parasiten (KULOW 1990). Zur Erzielung pathogener Effekte werden gewöhnlich UV-Intensitäten zwischen 10 (*Aeromonas punctata*) und 4500 J/ m² (*D. spathaceum*) verwendet.

Untersuchungen zur Wirkung von UV- Strahlung auf Bakterien mit und ohne vorherige Filtrierung des zu behandelnden Wassers zeigen, dass eine Filtrierung die anschließende UV- induzierte Verringerung der Keimzahl deutlich positiv beeinflusst (LILTVED & CRIPPS 1999). Die Autoren führen an, dass eine vorhergehende Filtration des Wasservolumens mit einem Filter der Maschenweite 50 µm Fragmente entfernt, deren Schattenwurf anhaftende Bakterien effektiv vor einer Exposition schützt. Diese Ergebnisse verdeutlichen, wie stark ein Erfolg einer UV- Behandlung von Wasserparametern wie Absorptionsrate und Sedimentfracht beeinflusst wird. Auch SUMMERFELT (2003) weist auf diesen Zusammenhang hin und nennt beispielhaft Absorptionsraten für Wasserschichtdicken von 1 cm, die von 3 % bei reinem Quellwasser über 7 % bei im Kreislauf betriebenen Anlagen bis zu 60 % während der Anlagenreinigung einer Kreislaufanlage reichen können.

Weitere wichtige Kriterien für den effektiven Betrieb einer UV- Anlage sind der schleichende Wirkungsverlust der verwendeten UV- Röhren, der am Ende der Betriebsdauer bis zu 40 % betragen kann und schon bei der Konzeption der Anlage Eingang in die Berechnungen finden sollte (SUMMERFELT 2003). Ebenso sollte die Betriebstemperatur der UV- Strahler 40°C betragen, da die Effizienz der Röhren bei niedrigeren Temperaturen rapide abnimmt; diese liegt z.B. bei einer Temperatur von 25°C nur noch bei ca. 65-75 % der bei 40°C erreichten Leistung.

PRAH & JAMES (1977) beschreiben die hemmende Wirkung von Sonnen- und UV-Kunstlicht auf Mirazidien von *Schistosoma mansoni* und *S. haematobium*. Bereits nach zweistündiger Exposition mit Sonnenlicht zeigen die in einem Milliliter Wasser gehaltenen Mirazidien im Vergleich zu durch Rauchglasscheiben vor direkter Sonnenstrahlung geschützten Individuen eine deutliche Minderung ihrer Aktivität. Da je-

doch Trübung und Schichtdicke des Wasserkörpers unter natürlichen Bedingungen eine ähnlich starke Strahlendosis verhindern, ist der Effekt der Sonnenstrahlen gemäß der Autoren zumeist vernachlässigbar. Auch die Verwendung einer künstlichen UV-Quelle führt nach nur 40 s zur signifikanten Verringerung der Mirazidien-Aktivität. Eine Bestrahlungsdauer von 105 s tötet bis auf wenige Ausnahmen alle exponierten Mirazidien der oben genannten Arten. Leider wird von den Autoren versäumt, neben Expositionsdauer und Abstand zur Strahlenquelle konkrete Strahlendosen anzuführen, weswegen die Ergebnisse nicht reproduzierbar sind. Die weiteren Ergebnisse zeigen jedoch anschaulich, dass überlebende Exemplare der genannten Versuche zugesetzte Wirtsschnecken zwar invadieren, eine anschließende Wanderung zum Targetorgan (Lunge) jedoch unterbleibt, so dass ein eingeschränkter Behandlungserfolg bei ähnlichen Parasitenarten auch bei subletalen Dosen zu erwarten ist, da die Parasitenzyklen nicht mehr komplett ablaufen können.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangen KARANIS et al. (1991) bei der UV-Behandlung des Protozoen *Trichomonas vaginalis*. Während Strahlendosen von 80-160 mJ/cm² bereits zu Degeneration und Zytolyse führen und Dosen von 400 mJ/cm² 99,8 % der bestrahlten Einzeller abtöten, kann schon bei Dosen von 160-240 mJ/cm² beobachtet werden, dass eine weitere Vermehrung der Parasiten unterbleibt. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass Mortalitäten, welche bereits durch das aktive Eindringen in einen Zwischenwirt ausgelöst werden (akute Zerkariose), von einer bloßen Unterbindung der weiteren Entwicklung des Parasiten nicht unterdrückt werden können.

Generell ist erkennbar, dass größere Zielorganismen deutlich höheren Strahlendosen ausgesetzt werden müssen, um eine zuverlässige Inaktivierung zu erreichen. Die in der Literatur angegebenen 4500 J/m² zur Abtötung von *D. spathaceum* (WLASENKO 1969) sind dabei am ehesten mit der Bekämpfung von *B. polymorphus* zu vergleichen. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass eine deutlich reduzierte Infektiosität metazoischer Parasitenlarven schon bei Behandlung mit subletalen Strahlendosen erreicht werden kann, wie die Ergebnisse von PRAH & JAMES (1977) verdeutlichen (s.o.). Es ist zu erwarten, dass mit UV-Lichtintensitäten von ca. 400 J/m² eine Schädigung von Zerkarien eintritt (FUCHS, Universität Bielefeld, mündl. Mitt.).

5.7 Freilandversuche

5.7.1 Ultraschallbehandlung im Großversuch

Die im Rahmen der durchgeführten Großversuche gewonnenen Datensätze belegen die prinzipielle Wirksamkeit der Ultraschallanwendung außerhalb des Labors. Auf statistische Vergleiche zwischen den Regenbogenforellen der Kontroll- und der Versuchsgruppen wurde verzichtet, da aufgrund der schlechten Umweltbedingungen (hohe Wassertemperaturen, geringe Sauerstoffgehalte) nur 11 % der Versuchstiere überlebt hatten und somit keine wissenschaftlich begründete Diskussion dieser Ergebnisse erlauben. Hierbei ist auffällig, dass die ermittelten Wasserparameter zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung auf eine beginnende Ammoniak-Toxizität hindeuten. Bei einem pH-Wert von 9,0 und einer Temperatur von 24°C liegen 34 % des vorhandenen Ammoniums als Ammoniak vor. Bei einer gemessenen Ammonium-Konzentration von 0,4 mg/l sind dies 0,136 mg/l. Die für Karpfen bzw. Forellen angegebenen Höchstmengen sollten längerfristig 0,02 bzw. 0,01 mg/l nicht übersteigen (SCHÄPERCLAUS 1990). In wie weit die Überschreitung dieser Konzentrationen am Verlustgeschehen beteiligt ist, kann gegenwärtig leider nicht mehr überprüft werden. Augenfällig ist, dass in der Kontrollgruppe im Vergleich zur Ultraschall- und UV-Gruppe die geringsten Mortalitäten zu verzeichnen waren: Während hier 41 % der Forellen und 100 % der Karpfen überlebten, konnten bei Ultraschall- und UV-Gruppe nach Versuchsende nur 12 und 92 % resp. 18 und 92 % der Versuchstiere lebend geborgen werden. Die Ursachen dieser differierenden Mortalitäten lassen sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschließend klären. Es erscheint kaum möglich, dass die jeweiligen Behandlungen des Wassers direkt für die erhöhten Mortalitäten verantwortlich zu machen sind, da im Versuchsaufbau Maßnahmen getroffen wurden, um den Schall bzw. den UV-Eintrag in die Fischrinnen zu verhindern: Behandlungs- und Hälterungseinrichtungen wurden zunächst räumlich voneinander getrennt. Der Ultraschallgenerator wurde mit einer schalldämmenden Umhüllung versehen, die einen Großteil des entstehenden Lärms zurückhielt. Weiterhin erfolgte die Einleitung des behandelten Wassers in die Fischrinne über Lochgitter, um eine Unterbrechung des geschlossenen Wasserstromes und somit der Schallausbreitung zu erreichen. Die UV-Röhre wurde in einem lichtdichten, bis auf Ein- und Ausstromöffnung abgeschlossenen Reaktionsraum betrieben, der eine Ausbreitung von Strahlung komplett verhindert. Es besteht zumindest die theoretische Möglichkeit, dass trotz räumlicher

Trennung und installierter Schalldämmung Schallwellen nicht über das behandelte Wasservolumen, sondern über die Luft von außen auf das Becken der Ultraschallgruppe eingewirkt haben könnten. Ob ein konstantes Geräusch nach einer Gewöhnungsphase derart nachteilige Wirkung auf gehaltene Fische haben kann, ist jedoch umstritten. Untersuchungen zum Wachstum von Koikarpfen (*C. carpio*) konnten zeigen, dass Koi, die täglich drei Stunden mit Violinenmusik beschallt wurden, innerhalb von zwei Monaten 18 bis 50 % stärkere Massezuwächse zeigten als Vergleichsfische, die keine Musik zu hören bekamen (VASANTHA 2003). Leider ist die Lautstärke, mit der die Musik während des Untersuchungszeitraumes wiedergegeben wurde, nicht genannt, so dass ein direkter Vergleich mit den Bedingungen des Freilandversuchs nicht gelingen kann. Des Weiteren lässt der akustische Vergleich zwischen rhythmischer und sanfter Geigenmusik und dem monotonen Arbeiten einer Ultraschallanlage viel Platz für persönliche und geschmackliche Diskussionen.

Karpfen, welche mit ultraschallbehandeltem Wasser versorgt worden waren, wiesen einen geringeren Parasitenbefall auf als Fische der unbehandelten Kontrollgruppe. Ein unkorrigierter, direkter Vergleich der Daten von Kontroll- und Ultraschallgruppe ist jedoch unzulässig, da aufgrund des mehrmaligen Ausfalls des Ultraschallgenerators die Fische der Ultraschallgruppe nach 20 Tagen vorzeitig entnommen und an das IfB verbracht wurden, so dass diese Fische lediglich 4/7 des Expositionszeitraumes der Kontrollgruppe von Zerkarien befallen werden konnten. Unter der Prämisse des zeitlich konstanten Befalls mit Zerkarien ergäbe ein auf 20 Tage reduzierter Versuchszeitraum bei den Kontrolltieren eine mittlere Befallsdichte von 0,16 MC/ g Filet und 0,07 MC/ g Kiemengewebe. Betrachtet man diese theoretischen Werte der Fische der Kontrollgruppe als 100%, so verringert sich der Befall von Filet und Kiemen durch Verwendung von Ultraschall mit der oben beschriebenen Leistung mit 0,04 und 0,03 MC/g Gewebe auf 19% bzw. 57%.

Ein Vergleich der Befallsraten zeigt, dass den 76 % an infizierten Tieren der Kontrollgruppe eine Prävalenz von 27 % bei Karpfen der Ultraschallgruppe gegenübersteht. Da nicht einzuschätzen ist, in welchem Maße diese Reduktion auf die erfolgreiche Ultraschallbehandlung respektive den reduzierten Expositionszeitraum zurückzuführen ist, ist diese Differenz jedoch nur bedingt aussagekräftig. Die Ergebnisse des über den gesamten Zeitraum durchgeführten UV- Versuchs zeigen jedoch, dass eine antiparasitäre Behandlung des Wassers über eine Reduzierung der Befallsdichte

hinaus eine leichte Erniedrigung der Befallsrate bewirkt (s.u.). Die sowohl in den Regenbogenforellen als auch in den Karpfen der Ultraschallgruppe nachgewiesenen Metazerkarien sind vermutlich vornehmlich durch den mehrstündigen Ausfall des Ultraschallgenerators am 17. Versuchstag bedingt. Weitere Zerkarien konnten die Fische im Zeitraum zwischen dem 2. Ausfall des Generators (20. Versuchstag) und dem Umsetzen in die Transportbehälter erreichen. Dennoch deuten die hier skizzierten Werte zum Befall des Karpfens an, dass durch den Einsatz des Ultraschallgerätes eine deutliche Verringerung im Befall der Tiere erzielt werden konnte.

5.7.2 UV-C- Behandlung im Großversuch

Auch die unter realen Bedingungen durchgeführten Untersuchungen zur Wirkung von UV-C-Strahlen auf *B.-polymorphus*-Zerkarien zeigten eine prinzipielle Anwendbarkeit dieser Behandlungsmethode. Neben einer geringen Reduzierung der Befallsrate von 76 % auf 68 % ist ein ebenfalls geringer Rückgang der Befallsdichte der Kiemen von 0,12 auf 0,10 MC/ g Gewebe (-17 %) bzw. eine von 0,27 auf 0,14 MC/ g (-49 %) reduzierte Befallsdichte im Filet zu verzeichnen. Die Ergebnisse sind wie oben angeführt jedoch aufgrund der ermittelten Standardabweichung von bestenfalls tendenzieller Signifikanz.

Obgleich das vom Hersteller des verwendeten UV-Gerätes (Fa. UBBINK, Deutschland) propagierte Behandlungsvolumen (bis zu 17500 l/ h im Kreislauf) fast fünfmal höher als die im durchgeführten Versuch bestrahlte Durchfluss-Wassermenge (3600 l/ h) ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die UV-Dosis von ca. 58 J/ m² zu gering war, um die mitgeführten Zerkarien signifikant zu schädigen. Die wiederholte Wasserbehandlung bei einer im Kreislauf betriebenen Anlage mag dazu beitragen, dass trotz der geringen erreichten Strahlendosen die Wirkung aufgrund der sich ständig wiederholenden Exposition ungleich höher ist. Zusätzlich werden bei Kreislaufanlagen Schwebstoffe vor der UV- Bestrahlung durch einen vorgeschalteten Filter zuverlässig entfernt, was die Eindringtiefe der Strahlung erhöht und die Behandlung trotz der geringen Leistung effektiver gestaltet. Im vorliegenden Fall war die Belastung des Zulaufwassers mit planktischen Algen, Schwebstoffen und sedimentierfähigem Material im Gegensatz sehr hoch, so dass das UV-Licht wahrscheinlich die Wassersäule nicht tief genug durchdringen und die keimtötende Wirkung sich nicht in vollem Maße entfalten konnte. Bei Verwendung von UV- Lampen höherer

Leistung, evtl. in Verbindung mit einer vorherigen Filtrierung des Wassers, sind deutlich stärkere Effekte wahrscheinlich.