

Investigations to need and possibilities  
of an effective sterilization of the supply water  
for the fingerling fish farm Sproitz

Final report

Untersuchungen zur Notwendigkeit  
und zu Möglichkeiten einer wirksamen Entkeimung des  
Zuflusswassers der Satzfishanlage Sproitz

Abschlussbericht



Supported from Structural  
Funds FIG in accordance  
with Council Regulation (EC)  
No 2792/1999



Gefördert aus Mitteln des  
Strukturfonds FIAF gemäß  
Verordnung (EG)  
2792/1999

Fachmaterial  
Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft



**Institut für Binnenfischerei e. V. (IfB)**  
**Potsdam Sacrow**  
**Jägerhof am Sacrower See 14476 Groß Glienicke**  
Direktor: Prof. Dr. habil. R. Knösche  
Tel. 033201 406-0 E-mail: [reiner.knoesche@ifb-potsdam.de](mailto:reiner.knoesche@ifb-potsdam.de)



## **Abschlussbericht**

# **Untersuchungen zur Notwendigkeit und zu Möglichkeiten einer wirksamen Entkeimung des Zuflusswassers der Satzfisanlage Sproitz**

**Gefördert aus Mitteln des Strukturfonds FIAF  
gemäß Verordnung (EG) 2792/1999**

**Auftraggeber:**

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft  
August-Böckstiegel-Str. 1  
01326 Dresden

**Projektleitung:**

Dr. G. Füllner

**Bearbeiter:**

Dr. M. Pietrock  
TA J.-E. Wolber  
Prof. Dr. habil. K. Schreckenbach

**Mitarbeit:**

Dipl. Päd. Ch. Thürmer



# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	<b>4</b>
Tabellenverzeichnis .....	6
Abbildungsverzeichnis.....	7
<b>2 EINLEITUNG</b> .....	<b>9</b>
<b>3 MATERIAL UND METHODEN</b> .....	<b>13</b>
3.1 Bestimmung und Verbreitung von Parasiten in der Fischhälterungsanlage Sproitz.....	13
3.1.1 Untersuchung von Fischen.....	13
3.1.2 Untersuchungen zum Vorkommen von <i>Bucephalus polymorphus</i> in der Dreikantmuschel <i>Dreissena polymorpha</i> .....	14
3.1.3 Infektion von Zandern ( <i>Sander lucioperca</i> ) .....	15
3.2 Infektiosität von <i>Bucephalus-polymorphus</i> -Zerkarien gegen verschiedene Fischarten	16
3.3 Entwicklung technologischer Verfahren zur Bekämpfung von <i>Bucephalus-polymorphus</i> -Zerkarien.....	17
3.3.1 Laboruntersuchungen.....	17
3.3.1.1 Wassersturz .....	17
3.3.1.2 Wirkung von Ultraschall.....	17
3.3.1.3 Wirkung von UV- Licht.....	18
3.3.2 Feldversuche .....	19
3.3.2.1 Ultraschall .....	19
3.3.2.2 UV-Licht .....	20
3.4 Statistik .....	20
<b>4 ERGEBNISSE</b> .....	<b>21</b>
4.1. Vorkommen von Parasiten in der Fischhälterungsanlage Sproitz .....	21
4.1.1 Befall von Fischen der Hälterungsanlage Sproitz mit metazoischen Parasiten.....	21
4.1.2 Infektion von <i>Dreissena polymorpha</i> .....	22
4.1.3 Infektion von Zandern ( <i>Sander lucioperca</i> ) .....	24
4.2 Infektiosität von <i>Bucephalus-polymorphus</i> -Zerkarien .....	24
4.3 Technologische Verfahren .....	25
4.3.1 Laborexperimente .....	25
4.3.1.1 Wassersturz .....	25
4.3.1.2 Ultraschall .....	28
4.3.1.3 UV- Licht .....	33
4.3.2 Feldversuche .....	35
4.3.2.1 Ultraschall .....	35
4.3.2.2 UV-Licht .....	36
<b>5 DISKUSSION</b> .....	<b>37</b>

**6 KONZEPT FÜR DEN BETRIEB EINER GROßTECHNISCHEN ANLAGE ZUR BEKÄMPFUNG VON PARASITEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER NACHHALTIGKEIT, ÖKOLOGISCHEN VERTRÄGLICHKEIT UND ÖKONOMISCHEN WIRTSCHAFTLICHKEIT DER KREBA FISCH GMBH..... 45**

6.1 Gegenüberstellung einzelner Verfahren hinsichtlich Nachhaltigkeit, ökologischen Verträglichkeit und ökonomischen Wirtschaftlichkeit ..... 47

6.1.1 Wassersturz ..... 47

6.1.2 Ultraschall ..... 48

6.1.3 Ultraviolette Bestrahlung ..... 50

6.1.4 Einsatz von Ozon ..... 51

6.1.5 Filter ..... 53

6.1.6 Elektrischer Strom ..... 54

6.1.7 Biologische Bekämpfung ..... 55

6.2 Konzept zur großtechnischen Bekämpfung von Parasiten ..... 56

**7 LITERATUR..... 58**

## 1 ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Projektrealisierung wurde durch parasitologische Untersuchungen an Fischen, Muscheln und Schnecken der Erreger der in der Hälteranlage Sproitz aufgetretenen akuten Erkrankungsfälle identifiziert. Durch die Anwendung unterschiedlicher Verfahren sowie Durchführung von Infektionsversuchen gelang es, verschiedene freilebende und parasitäre Entwicklungsstadien (Ei, Mirazidium, Sporozyste, Zerkarie, Metazerkarie, Adultus) zu detektieren und den Trematoden *Bucephalus polymorphus* zweifelsfrei als Agens für das Krankheits- und Verlustgeschehen zu diagnostizieren. In den Fischen der Hälterungsanlage Sproitz kommen darüber hinaus weitere Parasiten der systematischen Taxa Cestoda, Trematoda, Monogenea und Crustacea vor, welche jedoch von untergeordneter pathologischer Bedeutsamkeit sind.

Mit Hilfe experimenteller Versuche wurde die Infektiosität von *B.-polymorphus*-Zerkarien gegen verschiedene Fischarten untersucht. Es konnte hierbei gezeigt werden, dass insbesondere Regenbogenforellen und Cypriniden sehr anfällig für *B.-polymorphus*-Infektionen sind.

Die pathogene Wirkung verschiedener physikalischer Verfahren (Dekantieren, Ultraschallanwendung, Bestrahlung mit UV-Licht) gegen *B.-polymorphus*-Zerkarien wurde in Labor- bzw. Feldversuchen getestet. Der Aufprall zerkarienhaltigen Wassers auf eine ebene Fläche führt bereits ab einer Fallhöhe von 37 cm zu sichtbaren Verletzungen bzw. zum Tod der Parasitenlarven. Die Anwendung von Ultraschall erbrachte unter Laborbedingungen bei spezifischen Energieeinträgen von 0,0005-0,001 kWh / L Mortalitäten von 60 – 100 %. Der Einsatz von ultraviolettem Licht führte bei einer Dosis von 1800 J/m<sup>2</sup> zu einer signifikant verringerten Bewegungsaktivität der Zerkarien. Die Durchführung von Feldversuchen in der Fischhälterungsanlage Sproitz offenbarte, dass sowohl die Ultraschallbehandlung als auch die Bestrahlung des Produktionswassers mit ultraviolettem Licht potenziell zur Bekämpfung von *B.-polymorphus*-Invasionen geeignet sind. Allerdings mussten diese Versuche wegen technischer Probleme vorzeitig abgebrochen werden (Ultraschalleinsatz) bzw. mussten aufgrund des langanhaltend heißen Sommers und der damit verbundenen geringen Wasserqualitäten in der Fischhälterungsanlage Sproitz außergewöhnliche Mortalitäten von bis zu 89 % unter den Versuchsfischen hingenommen werden. Zur fundierteren Klärung des möglichen Einsatzes von Ultraschallgeräten zur Parasitenbekämpfung wäre eine Wiederholung dieser Feldversuche daher zu empfehlen.

Aufbauend auf einer Recherche des internationalen Schrifttums wurden weitere potenzielle Verfahren zur Erregerbekämpfung (Ozonierung, Filtration, Verwendung von elektrischem Strom, biologische Bekämpfung) den getesteten Lösungsmöglichkeiten gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit, Wirtschaftlichkeit und ökologischen Verträglichkeit diskutiert. Anhand der durchgeführten Analyse wurde deutlich, dass unter den gegenwärtigen ökonomischen Rahmenbedingungen kein technisches Verfahren existiert, welches zur kostendeckenden und somit effizienten Behandlung der gesamten Zulaufwassermenge

geeignet ist. Darüber hinaus muss die Anwendung einer großtechnischen Lösung zur Bearbeitung des Gesamtwasservolumens auch aus sachlichen Gründen abgelehnt werden.

Zur Lösung der Zerkarienproblematik in der Fischhälterungsanlage Sproitz wird empfohlen, flexible UV-Lampen mit einer effektiven UV-C-Strahlungsdosis von  $\geq 400 \text{ J/m}^2$  zu verwenden, welche räumlich und zeitlich unabhängig in den Fischhälterungseinrichtungen installiert werden können. Die UV-Lampen können gezielt bei der Hälterung sensibler Fischarten eingesetzt werden, erfassen sämtliche eindringenden Erreger, sind kostengünstig zu beschaffen und problemlos auszuwechseln. Beim Auftreten technischer Schäden an den UV-Einheiten wären nur einzelne Fischhälterungseinheiten in Mitleidenschaft gezogen.

Als weitere Maßnahme wird zur Verminderung des Erregerdrucks die regelmäßige Sanierung der Teiche und Hälter durch Trockenlegung und / oder Kalkung zur pH-Wert-Erhöhung angeregt.

## Tabellenverzeichnis

- Tab. 1: Testbedingungen und Anzahl der in den jeweiligen Versuchen verwendeten Dreikantmuscheln *Dreissena polymorpha*. (S. 14)
- Tab. 2: Versuchsparameter der Experimente zur Wirkung von Ultraschall auf *Bucephalus polymorphus*-Zerkarien. (S. 18)
- Tab. 3: Expositionsdauer und UV-C-Strahlungsdosis in den jeweiligen Laborversuchen. (S. 19)
- Tab. 4: Übersicht über die in Fischen der Hälteranlage Sproitz nachgewiesenen Parasiten. (S. 21)
- Tab. 5: Theoretischer Leistungsbedarf eines Ultraschallgenerators zur Behandlung des Zulaufwassers der Fischhälterungsanlage Sproitz, basierend auf Ergebnissen von Laborversuchen. (S. 49)
- Tab. 6: Vergleich verschiedener technischer Verfahren der Erregerbekämpfung unter Berücksichtigung von Anschaffungskosten, Energieverbrauch, Umweltverträglichkeit und Effektivität, schematisch, bezogen auf 1 Jahr. (S. 56)

## Abbildungsverzeichnis

**Abb. 1:** Lebenszyklus von *Bucephalus polymorphus*.

**Abb. 2:** Sporozysten aus *Dreissena polymorpha*, Übersichtspräparat.

**Abb. 3:** Sporozysten aus *D. polymorpha*: Keimschläuche mit Zerkarien unterschiedlichen Reifegrades.

**Abb. 4:** *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarie.

**Abb. 5:** Vergleich der mittleren Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) von Plötzen (*Rutilus rutilus*), Güstern (*Abramis bjoerkna*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und Flussbarschen (*Perca fluviatilis*) nach 4- bzw. 8stündiger Exposition mit *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien (Anzahl untersuchter Fische je Versuchsgruppe).

**Abb. 6:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 36 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

**Abb. 7:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 100 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

**Abb. 8:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 150 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

**Abb. 9:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 200 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

**Abb. 10:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach dreimaligem Aufprall aus einer Höhe von 200 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

**Abb. 11:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,000985 kWh/L, n = 6 x 10 Zerkarien).

**Abb. 12:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,000649 kWh/L, n = 6 x 10 Zerkarien).

**Abb. 13:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00176 kWh/L, n = 6 x 10 Zerkarien).

**Abb. 14:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00108 kWh/L, n = 6 x 10 Zerkarien).

**Abb. 15:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00064 kWh/L, n = 6 x 10 Zerkarien).

- Abb. 16:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}} 0,00056$  kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).
- Abb. 17:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}} 0,00107985$  kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).
- Abb. 18:** Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}} 0,000508$  kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).
- Abb. 19:** Zusammenhang zwischen der eingebrachten Energie und der Anzahl toter und nicht mehr nachweisbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien.
- Abb. 20:** Mittlere Anzahl (+ S.D.) vollständiger Kontraktionen je Minute von *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien vor und 45 Minuten nach UV-Bestrahlung über einen Zeitraum von 10, 20 oder 30 s (i.e. 950, 1800 bzw. 2850 J/m<sup>2</sup>).
- Abb. 21:** Zusammenhang zwischen dem Quotienten aus der Anzahl vollständiger Kontraktionen von *B.-polymorphus*-Zerkarien nach und vor Einwirkung von UV-C-Strahlung und der Bestrahlungsdauer.
- Abb. 22:** Mittlere Anzahl ( $\pm$  S.D.) von *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarien im Kiemengewebe und in der Muskulatur der Regenbogenforelle nach 34tägiger Exposition Vergleich Kontrolle UV Ultraschall Rf .
- Abb. 23:** Mittlere Anzahl ( $\pm$  S.D.) von *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarien im Kiemengewebe und in der Muskulatur von Karpfen nach 34tägiger Exposition Vergleich Kontrolle UV Ultraschall.
- Abb. 24:** Anteriores Körperende eines adulten *Bucephalus polymorphus* mit typischen muskulären Anhängen.
- Abb. 25:** Verlegung eines Kiemengefäßes durch eine *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarie.

## 2 EINLEITUNG

Die Kreba Fisch GmbH unterhält am Standort Sproitz eine der bedeutendsten Satzfischanlagen Sachsens. In 36 Teichen mit einer Fläche von insgesamt 12,96 ha sowie weiteren 34 Rundbecken mit jeweils 200m<sup>3</sup> Hältervolumen und einer Vielzahl weiterer kleinerer Produktionseinheiten werden hier verschiedene Fischarten und –altersklassen produziert und/oder gehältert. Das Artenspektrum der in der Aquakulturanlage anzutreffenden Fische spezie beinhaltet u.a. Karpfen (*Cyprinus carpio*), Schleien (*Tinca tinca*), Goldorfen (*Leuciscus idus*), Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*), Kois (*C. carpio*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), Sterlets (*Acipenser ruthenus*), Sibirische Störe (*A. baeri*), Russische Störe (*A. gueldenstaedtii*), Hechte (*Esox lucius*) und Welse (*Silurus glanis*). Insbesondere im 1., 2. und 3. Jahresquartal erfolgt die Direktvermarktung einer großen Menge an Speisekarpfen. Für die Binnenfischerei im gesamten ostsächsischen Raum ist die Satzfischanlage Sproitz somit von herausragender Bedeutung.

Leider kam es in der jüngeren Vergangenheit zu einer zunehmenden Verschlechterung der Qualität des Zulaufwassers der Satzfischanlage Sproitz. Die Verminderung der Wasserqualität ging einher mit massenhaften Verlusten ökonomisch bedeutsamer Fischarten. Durch den Fischgesundheitsdienst der Tierseuchenkasse Sachsen wurde bei verendeten Tieren bzw. Fischen mit auffälliger Klinik ein Befall mit Zerkarien nicht endgültig bestimmter Trematodenarten diagnostiziert. Trematoden (*i.e.* Saugwürmer) sind als heteroxene Parasiten an das Vorhandensein mehrerer Wirtskategorien gebunden; als 1. Zwischenwirt fungieren stets Mollusken. Die zunehmende Eutrophierung der am Standort Sproitz gelegenen Talsperre Quitzdorf, welche zur Wasserversorgung der Fischhälterungsanlage genutzt wird, führte zur Massenentwicklung von Schnecken und Muscheln und förderte somit die räumliche Ausbreitung parasitischer Trematoden.

Im internationalen Schrifttum liegen zahlreiche Nachweise über fischpathogene Effekte von Trematodenlarven vor (Baturo, 1980; Buchmann und Uldal, 1994; Cornelius, 1935; Heinemann, 1937; Körting, 1992; Mattheis und Odening, 1980; Owen et al., 1993; Shariff et al., 1980; Szidat, 1927). Die Erkrankungen können dabei in Form einer akuten Zerkariose oder als Metazerkariose in Erscheinung treten (Odening, 1990) und erstrecken sich von geringen Schädigungen bis hin zu Massenverlusten. Das Ausmaß der pathogenen Wirkungen von Trematodenlarven wird durch wirts- und parasitenspezifische Variablen bestimmt und durch natürliche und anthropogene Umweltfaktoren modifiziert. Im Zusammenhang mit Fischparasitosen stehende, wirtsspezifische Eigenschaften sind u.a. die Fischart, die Kondition, das Alter, die Größe und das Geschlecht der Tiere. So ist die unterschiedliche Empfänglichkeit verschiedener Fischarten gegen gleichartige Erreger ein weitverbreitetes Phänomen in der fischpathologischen Praxis und zugleich wohletabliertes Prinzip in Wirt-Parasit-Beziehungen (Williams und Jones, 1994). Darüber hinaus ist häufig zu beobachten, dass geschwächte oder schlecht konditionierte Fische anfälliger gegen parasitäre Infektionen sind als gesunde und ausreichend genährte Artgenossen. Während das Alter von Fischen

durch die gelegentliche Ausbildung von Altersresistenzen oder Immunitäten Einfluss auf eine Parasitose nimmt (Odening, 1990), ist die Größe der Wirte vor allem bei aktiv den Fisch aufsuchenden bzw. im Organismus wandernden Parasiten von Bedeutung. Großwüchsige Fische bieten frei im Wasser schwimmenden Parasitenlarven eine vermehrte Penetrationsfläche; andererseits erfordern sie von den Schmarotzern im Falle einer Körperwanderung jedoch einen vermehrten Energieaufwand bis zum Erreichen des Targetorgans. Geschlechtsspezifische Differenzen im Parasitenbefall von Fischen wurden vereinzelt nachgewiesen und auf unterschiedliche physiologische Resistenzen bzw. Nahrungsgewohnheiten zwischen den Geschlechtern zurückgeführt (Pennycuik, 1971; Thomas, 1964).

Für die Stärke der durch Trematodenlarven hervorgerufenen pathologischen Veränderungen im Wirt sind auch parasitenspezifische Variablen, wie z.B. die Parasitenart, der Infektionsweg, die Lokalisation und Befallsintensität von Bedeutsamkeit. Ähnlich wie verschiedene Fischarten in unterschiedlicher Weise auf den Befall mit einem Erreger reagieren, zeigen verschiedene Trematodenspezies eine differenzierte Pathogenität gegen einen einzelnen Organismus. 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 Zerkariose mit typischen pathologischen Effekten (wie z.B. Hämorrhagien) kommen kann. Nach dem Eindringen in den Fisch wandern die Trematodenlarven i.d.R. zu ihrer endgültigen Lokalisation. Entsprechend der jeweiligen Bedeutung des Targetorgans 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 gut von Fischen vertragen wird, kann das Vorhandensein von bereits wenigen Metazerkarien im Gehirn oder in den Augenlinsen zu Verhaltensänderungen der Wirte führen (Crowden und Broom, 1980; Owen et al., 1993; Shirakashi und Goater, 2001).

Zur Bekämpfung von Zerkarieninvasionen werden in der Literatur verschiedene biologische, chemische und physikalische Methoden aufgeführt (Odening, 1990), welche i.d.R. entweder auf eine direkte Schädigung der Schmarotzer oder aber auf die Unterbrechung ihres Lebenszyklus (z.B. durch Vernichtung der obligatorischen Wirte) abzielen. So wird als eine Möglichkeit zur Bekämpfung von Parasitosen der Einsatz von Chemikalien (Molluskiziden) beschrieben, welche 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 (Kamenskij, 1970; Odening, 1990; Wlasenko, 1969, 1972). Die jeweiligen Verfahren bergen für die praktische Anwendung allesamt Vor- als auch Nachteile oder gar Risiken und werden hinsichtlich ihrer Effizienz durch spezifische Umweltvariablen (wie z.B. Transparenz oder Leitfähigkeit des behandelten Wasserkörpers) beeinflusst.

Die zu Projektbeginn durchgeführten fischparasitologischen Untersuchungen (s.u.) offenbarten einen starken Befall verschiedener Fischarten mit Metazerkarien des Trematoden *Bucephalus polymorphus* von Baer, 1827, der durch weitere Untersuchungen als Ursache für die beobachteten Verluste in der Fischhälterungsanlage Sproitz bestätigt wurde. Aus diesem Grunde fokussierten die durchgeführten Versuche auf den genannten Schmarotzer, welcher nachfolgend eingehender vorgestellt werden soll.

Zum Entwicklungszyklus sowie zur Morphologie der verschiedenen Larvalstadien von *B. polymorphus* sind in der Literatur sehr widersprüchliche Angaben zu finden. Detailliertere Bemerkungen zu dieser Problematik finden sich bei Pietrock (1998). Die folgenden Ausführungen stützen sich im wesentlichen auf die Untersuchungen von (Baturu, 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 graviden Saugwürmer geben im Darm der Raubfische ihre Eier ab (Markevič, 1951), die mit den Faeces der Wirte ins Wasser gelangen. Anschließend sterben die Adulti (Pojmanska, 1985). In den Eiern entwickelt sich das 1. Larvenstadium (Mirazidium), welches zur Weiterentwicklung in einen geeigneten 1. Zwischenwirt gelangen muss.

Nach Baturu (1977) ist die Dreikantmuschel, *Dreissena polymorpha*, der 1. 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 1. Zwischenwirte dieses Trematoden erwähnt (Skrjabin and Guschanskaja, 1962; Yamaguti, 1975), jedoch handelt es sich hierbei vermutlich um die Zwischenwirte des nahe verwandten Saugwurmes *Rhipidocotyle campanula*. 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 Tochttersporozysten erfolgt die Bildung von Zerkarien, die wiederum lebend geboren werden (Viviparie). Das Austreten der Zerkarien aus den Mollusken erfolgt v.a. in den Monaten April bis September (Baturu, 1977). Die Lebensdauer der Zerkarien ist temperaturabhängig und beträgt bei 17-22 C etwa 1-2 Tage. In diesem Zeitraum müssen sie zur weiteren Entwicklung in einen geeigneten 2. Zwischenwirt gelangen. Nach Bauer (1987) sind bisher etwa 20 Fischarten aus den Familien Cyprinidae und Osmeridae als 2. Zwischenwirte von *B. polymorphus* bekannt. Während der Penetration der Fische werfen die Trematodenlarven ihren Schwanz ab. Anschließend siedeln sie sich überwiegend in den Flossen und der Muskulatur der Wirte an und beginnen sich zu enzystieren. Nach Baturu (1977) dauert diese Phase 2-3 Tage. Etwa zwei Wochen p. i. ist ihre Entwicklung zur Metazerkarie abgeschlossen. Die Lebensdauer der Metazerkarien beträgt etwa 2 Jahre.

Werden befallene Fische von als Endwirt geeigneten Raubfischen gefressen, erfolgt in deren Darm die Exzystierung der Metazerkarien und ihre Weiterentwicklung zum Adultus. 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.

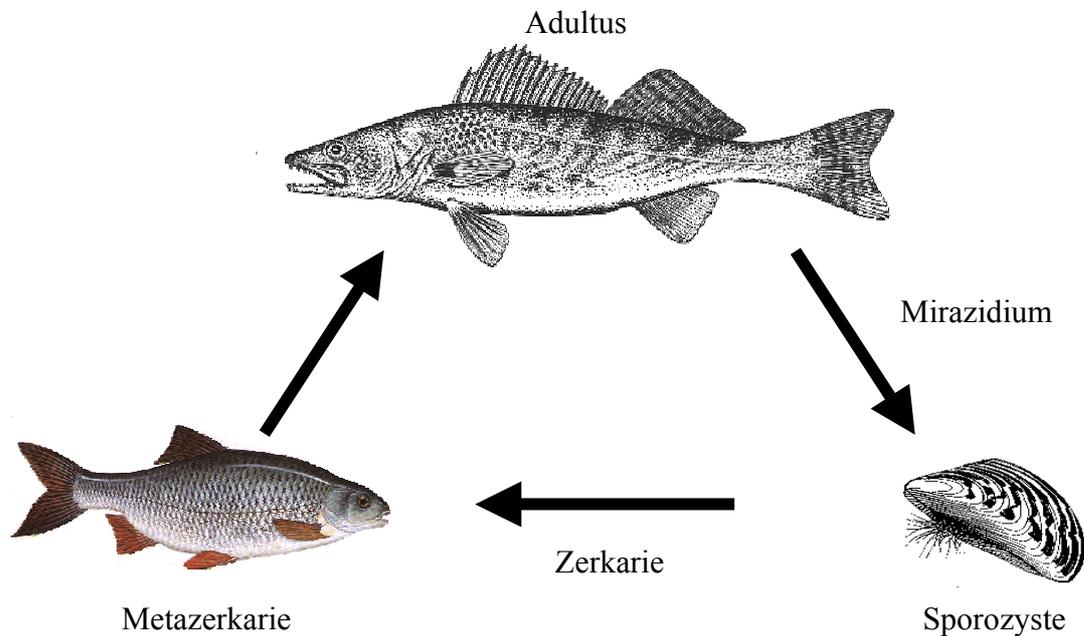


Abb. 1: Lebenszyklus von *Bucephalus polymorphus*

Um den Standort Sproitz seitens der Kreba-Fisch GmbH auch zukünftig zur umweltgerechten und ökonomisch vertretbaren Produktion, Hälterung und Überwinterung eines weiten Spektrums an Satz- und Speisefischarten nutzen zu können, ergab sich die Notwendigkeit zur Eindämmung des Verlustgeschehens durch eine Bekämpfung der eingetragenen Parasiten. Das Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow (IfB) wurde daher beauftragt, Untersuchungen zu Möglichkeiten einer wirksamen Entkeimung des Zulaufwassers der Fischzuchtanlage Sproitz durchzuführen. Im Speziellen sollten die eingeschleppten Parasiten erfasst und die pathogen bedeutsamen Arten bestimmt werden. Da ein dauerhafter Einsatz von Therapeutika oder anderer Chemikalien zur Erregerbekämpfung weder zulässig noch ökologisch vertretbar ist, galt es im Anschluss, technologische Verfahren zur Verhinderung von Zerkarieninvasionen zu entwickeln und ein Konzept für den Betrieb einer großtechnischen Anlage zur Bekämpfung von Parasiten unter Berücksichtigung der Nachhaltigkeit, ökologischen Verträglichkeit und ökonomischen Wirtschaftlichkeit des Unternehmens zu erarbeiten.

### 3 MATERIAL UND METHODEN

#### 3.1 Bestimmung und Verbreitung von Parasiten in der Fischhälterungsanlage Sproitz

##### 3.1.1 Untersuchung von Fischen

Zur Feststellung der in der Fischzuchtanlage Sproitz vorkommenden Parasiten wurden insgesamt 37 Fische untersucht. Der Probenumfang war artspezifisch und umfasste 12 Karpfen (*Cyprinus carpio*), 10 Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*), 3 Schleie (*Tinca tinca*), 3 Zander (*Sander lucioperca*) und einen Graskarpfen (*Ctenopharyngodon idella*). Neben den Nutzfischarten wurden darüber hinaus die metazoischen Parasiten von 6 Plötzen (*Rutilus rutilus*) und 2 Bleien (*Abramis brama*) bestimmt. Die Entnahme der Tiere wurde sowohl in der Becken- als auch in der Teichanlage durchgeführt und erfolgte mittels Kescher oder Wurfnetz. Im Anschluss an den Fang wurden die Individuen lebend nach Potsdam-Sacrow transportiert und innerhalb der folgenden Tage untersucht.

Die Sektion der Fische erfolgte nach international üblichen Methoden. Dazu wurden die Tiere mit einem Schlag auf den Kopf betäubt und durch Genickschnitt getötet (Anonym, 1993; Amlacher, 1992). Nach der äußeren makroskopischen Begutachtung der Fische auf möglichen Metazerkarien- oder Nematodenbefall wurden Augen und Kiemen unter Verwendung des Stereomikroskops (Leica GZ6) auf das Vorhandensein von Schmarotzern untersucht. Anschließend wurde die Leibeshöhle geöffnet und folgende Organe und Organsysteme auf Parasitenbefall betrachtet: Leber, Milz, Magen-Darm-Trakt, Gallenblase, Schwimmblase, Nieren und Herz. Der Magen-Darm-Trakt wurde in der gesamten Länge aufgeschnitten und die im Lumen befindlichen metazoischen Parasiten erfasst.

Kiemen, Flossen und Muskulatur wurden künstlich verdaut, um im Gewebe vorhandene Metazerkarien freizusetzen (Schuster et al., 1998). Zu diesem Zweck sind je 10-20g Muskulatur (zerkleinert in Würfel mit ca. 1cm Kantenlänge) bzw. alle Kiemenbögen und sämtliche Flossen der Fische in zwei separate Bechergläser mit je 50ml Verdauungslösung aus 0,7 Vol. % Salzsäure (32%ig) und 0,9 Vol. % Pepsin (2000 FIP U/g) überführt worden. Nachfolgend wurden die Proben bei Raumtemperatur auf einen Magnetrührer (120 U/min.) verbracht und nach einem Zeitraum von 90 Minuten über ein Sieb der Maschenweite 250-300µm abgossen, um vorhandene Gräten und Schuppenreste zu entfernen. Die Bechergläser wurden sodann mit Wasser aufgefüllt, um die Lösung zu verdünnen und den Verlauf der Digestion zu verlangsamen. Nach weiteren 10 Minuten, in denen sich die schwereren Bestandteile inklusive der Trematoden am Boden absetzten, wurde der Überstand vorsichtig abgossen und der Bodensatz in eine Petrischale überführt. Durch kreisende Bewegungen der Schale sammelten sich die Trematoden in der Mitte des Gefäßes. Je nach Trübung wurde soviel Flüssigkeit vom Rand der Schale abpipettiert, bis die Parasiten eindeutig zu identifizieren waren. Bei starker Trübung der Lösung musste nach dem Absaugen gegebenenfalls erneut Wasser zugegeben und der Vorgang wiederholt werden.

Die Artdetermination der Parasiten erfolgte mit Hilfe der Bestimmungsschlüssel von Bauer (1985, 1987).

### 3.1.2 Untersuchungen zum Vorkommen von *Bucephalus polymorphus* in der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*

Die Teiche, Gräben und Zuläufe der Fischzuchtanlage Sproitz wurden bei verschiedenen Begehungen auf das Vorhandensein von Muscheln und Schnecken untersucht, da diese als potenzielle Zwischenwirte für Trematoden fungieren und zur Ausbreitung von Erregern innerhalb der Anlage beitragen können. Es zeigte sich, dass neben verschiedenen *Lymnaea*- und *Radix*-Arten v.a. die Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha* sehr starke Populationen bildet. Von verschiedenen Stellen des Rohrleitungssystems zur Wasserversorgung der Beckenanlagen wurden mittels eines Keschers mehrere Tausend Muscheln (Gesamtmasse ca. 120 kg) entnommen. Die Mollusken wurden in das Institut für Binnenfischerei e.V. nach Potsdam transportiert, in ein Plastikrundbecken aus glasfaserverstärktem Polyester mit einem Volumen von 1,3 m<sup>3</sup> überführt und dort gleichmäßig am Boden verteilt. Das Becken wurde kontinuierlich über eine Pumpe mit Wasser des Sacrower Sees versorgt. Die durch den Pumpenbetrieb erzeugte Wasserströmung (gemessen am Außenrand des Beckens) betrug 5-8 cm/s; die Wassertemperatur schwankte im Untersuchungszeitraum zwischen 13 und 27 °C. Das Ablaufwasser wurde über ein System von Rohrleitungen geleitet und nach Passage eines Plastikbeckens in den Sacrower See entlassen.

Zur Untersuchung eines möglichen Befalls der Dreikantmuscheln mit Sporozysten des Trematoden *B. polymorphus* wurden insgesamt 132 Mollusken einzeln auf wassergefüllte Bechergläser verteilt. Entsprechend den Empfehlungen von Graczyk und Fried (2001) wurde durch Änderungen des Licht- und Temperaturregimes versucht, die Wirtsmollusken zum Ausstoß von Zerkarien zu veranlassen. Zu diesem Zweck wurden Dreikantmuscheln in verschiedenen Experimenten für eine unterschiedliche Zeitspanne abgedunkelt und/oder direkt an einer Lichtquelle (60-W-Glühbirne / 80-W-UV-Lampe / direkte Sonneneinstrahlung) platziert. Wechselnde Temperaturregimes wurden durch die Verwendung eines Brutschrankes (24 °C) bzw. Erwärmung durch direkte Sonneneinstrahlung ermöglicht. Die genauen Versuchsbedingungen in den einzelnen Experimenten sind in Tab. 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Testbedingungen und Anzahl der in den jeweiligen Versuchen verwendeten Dreikantmuscheln *Dreissena polymorpha*

Versuch Nr.	Testbedingungen	Anzahl der Muscheln
1	24-stündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen (22 °C) und natürlichem Lichtregime	35
2	3-stündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen und Kunstlicht (60 W)	15

3	24-stündiger Aufenthalt bei 15 °C und Dunkelheit, anschließend 3-stündiger Verbleib im direkten Sonnenlicht	15
4	48-stündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen und Dunkelheit, anschließender Verbleib im direkten Sonnenlicht für 45 Minuten	15
5	24-stündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen und Dunkelheit, anschließende Exposition gegen Kunstlicht (3 Std., 60 W), nachfolgend Verbleib im direkten Sonnenlicht für 35 Minuten	13
6	halbstündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen und UV-Kunstlicht	13
7	2-stündiger Aufenthalt bei Zimmertemperaturen und UV-Kunstlicht	26

Das in den Bechergläsern befindliche Wasser wurde in unregelmäßigen zeitlichen Abständen auf das Vorhandensein von Zerkarien untersucht. Um die genaue Anzahl der Negativ- bzw. Positivbefunde zu erhalten und die Sensitivität der jeweils verwendeten Methode zu ermitteln, wurden sämtliche Mollusken nach Abschluss der Exposition seziiert. Darüber hinaus erfolgten im April und Juli 2003 die Sektion und parasitologische Untersuchung von weiteren 405 Dreikantmuscheln.

Die Artbestimmung der Zerkarien erfolgte anhand der Werke von Baturu (1980) und Taskinen et al. (1991).

### 3.1.3 Infektion von Zandern (*Sander lucioperca*)

Zur Gewinnung adulter *B. polymorphus* wurden 15 zweisömmrige Zander in eine Kreislaufanlage, bestehend aus einem 250-l-Aquarium, einem Absetz- und einem Nitrifikationsbehälter, überführt. Die Fische mit einer anfänglichen mittleren Körperlänge von 13,8 cm und einer durchschnittlichen Körpermasse von 100 g wurden am IfB mit Trockenmischfuttermitteln aufgezogen und waren vor Versuchsbeginn nachweislich frei von *B.-polymorphus*-Infektionen. Nach einer zweiwöchigen Eingewöhnungsphase wurden sie schrittweise an die Aufnahme von Fischfleisch adaptiert. Nachfolgend wurden an die Zander ausschließlich *B.-polymorphus*-infizierte Weißfische verfüttert. Drei Monate nach der erstmaligen Verfütterung von infiziertem Material wurde mit der Sektion der Fische begonnen. Dazu wurden die Zander mit einem Schlag auf den Kopf betäubt, der Genickschnitt durchgeführt und anschließend die Bauchhöhle geöffnet (Amlacher, 1992; Anonym, 1993). Unter einer Stereolupe wurde bei 20-40facher Vergrößerung der Magen-Darm-Trakt in seiner gesamten Länge aufgeschnitten, die vorhandenen Trematoden entnommen und in Leitungswasser gesäubert. Die nachfolgende Artbestimmung der adulten Parasiten erfolgte unter Verwendung eines Mikroskops bei 200facher Vergrößerung und des Bestimmungsschlüssels von Bauer (1987).

### 3.2 Infektiösität von *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien gegen verschiedene Fischarten

Zur Untersuchung der Empfänglichkeit verschiedener Fischarten gegen Zerkarien von *B. polymorphus* wurden in einem mit Dreikantmuscheln besetzten GFP-Rundbecken (s.o.) mehrere Infektionsexperimente durchgeführt. Zur Realisierung des ersten Versuchs wurde die Wasserzufuhr des Beckens abgestellt und der Wasserstand auf ca. 40 cm abgesenkt; die Wassertemperatur betrug 19 °C. Anschließend erfolgte der Besatz des Rundbeckens mit 20 Regenbogenforellen (*O. mykiss*), 20 Flussbarschen (*Perca fluviatilis*), 16 Güstern (*Abramis bjoerkna*) und 8 Plötzen (*Rutilus rutilus*). Die Fische (Flussbarsch, Güster, Plötze) entstammten dem Sacrower See bzw. kamen aus einer nahegelegenen Forellenzuchtanlage. Vorherige Untersuchungen hatten ergeben, dass die Tiere aus genannten Lokalitäten frei von *B.-polymorphus*-Infektionen waren. Nach einer Expositionsdauer von 4 Stunden wurde von jeder Fischart jeweils die Hälfte der verwendeten Individuen in ein separates Rundbecken überführt. Nach 8 Stunden wurden auch die restlichen Tiere dem Versuchsbecken entnommen und in ein anderes Rundbecken gesetzt.

Im Sommer 2003 erfolgte die Wiederholung des Experimentes mit 28 Karpfen (*Cyprinus carpio*, mittlere Stückmasse  $\bar{x} = 266,1$  g) und 11 Regenbogenforellen ( $\bar{x} = 127,0$  g). Da die Wasserparameter während des Versuchszeitraumes nicht optimal waren (Temperatur 26 °C, Sauerstoffgehalt 8,0 mg/L, wurde dieses Experiment als dynamischer Test durchgeführt, der Wasseraustausch betrug während des Expositionszeitraumes etwa 1200 L/h. Nach 4 Stunden wurden sämtliche Regenbogenforellen sowie 14 Karpfen entnommen und in ein separates Becken verbracht. Nach einem Zeitraum von 8 Stunden wurde der Versuch beendet und die verbliebenen Karpfen ebenfalls in eine gesonderte Hältereinrichtung überführt.

Die Sektion der Fische beider Experimente begann jeweils 4 Wochen p.i. und erfolgte nach international üblichen Methoden. Zur qualitativen und quantitativen Analyse des Metazerkarienbefalls wurden je Fisch ca. 10-20 g Filet und Flossen nach der Verdauungsmethode von Schuster et al. (1998) behandelt. Bei der Wiederholung des Experimentes wurden zusätzlich die Kiemen der Fische analysiert (s. 3.1.1). Die nachgewiesenen Trematodenlarven wurden gezählt und die Artdetermination mit Hilfe aktueller Bestimmungsschlüssel (Bauer, 1987) vorgenommen.

### **3.3 Entwicklung technologischer Verfahren zur Bekämpfung von *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien**

#### **3.3.1 Laboruntersuchungen**

##### 3.3.1.1 Wassersturz

Um den Effekt mechanischer Kräfte auf das Überleben und die Vitalität von *B.-polymorphus*-Zerkarien zu ermitteln, wurden die Parasitenlarven durch freien Fall aus unterschiedlicher Höhe auf eine harte Oberfläche Scher- und Reißkräften variabler Stärke ausgesetzt und anschließend auf morphologische Schädigungen untersucht.

Zehn Zerkarien wurden durch Sektion von jeweils drei befallenen Dreikantmuscheln gewonnen und mittels einer Pipette in ein mit 50ml Leitungswasser aufgefülltes Becherglas gegeben. Die Flüssigkeit wurde anschließend über einen Trichter, welcher an einem Stativ in variabler Höhe über einem Auffangbehälter mit festem, ebenen Boden befestigt war, dekantiert. Nachfolgend erfolgte die Überführung des aufgefangenen Wasservolumens und der darin befindlichen Zerkarien in eine Petrischale. Unter Verwendung einer Stereolupe bzw. eines Mikroskops wurden die Parasitenlarven bei 40-200facher Vergrößerung qualitativ begutachtet und dabei einer von drei definierten Gruppen (unverletzt, ein bzw. beide Schwanzanhänge fehlend, getötet) zugeordnet; die Anzahl nicht auffindbarer Parasiten wurde notiert. Jeder Versuch wurde sechsmal wiederholt, so dass je Fallhöhe (36 cm, 90 cm, 150 cm, 200 cm, dreimalig 200cm) 60 Zerkarien exponiert wurden.

##### 3.3.1.2 Wirkung von Ultraschall

Zur Untersuchung der Wirkung von Ultraschall auf *B. polymorphus*-Zerkarien wurden diese im Labor mit Hilfe des Ultraschallprozessors UP 200S (Fa. Dr. Hielscher GmbH, Deutschland) sowie zweier Sonotroden unterschiedlichen Durchmessers (S14, S40) in mehreren Versuchen ungeladenen Ultraschallwellen verschiedener Stärke ausgesetzt.

Pro Versuchsdurchgang wurden zehn Zerkarien, die durch Sektion von jeweils drei befallenen Dreikantmuscheln gewonnen wurden, in ein Becherglas mit 50ml Leitungswasser überführt. Der an einem Stativ befestigte Ultraschallprozessor wurde soweit abgesenkt, dass die installierte Sonotrode genau 1cm in die zu behandelnde Wassermenge eintauchte. Der Abstand zwischen dem Boden des Becherglases und der Arbeitsfläche der Sonotrode betrug ebenfalls 1cm. Das Wasservolumen mit den darin enthaltenen Zerkarien ist anschließend wie in Tabelle 2 dargestellt exponiert worden, bevor es vorsichtig in eine Petrischale überführt und die Zerkarien mit Hilfe einer Stereolupe bzw. eines Mikroskops untersucht wurden. Aufgrund ihrer äußeren Merkmale wurden die behandelten Parasiten in eine von vier definierten Gruppen (unverletzt; verletzt, Schwanzanhang/-hänge abgetrennt; getötet; vollständig zerfallen) eingeteilt. Jeder dieser Versuche wurde bei Raumtemperatur

durchgeführt und sechsmal wiederholt, so dass jeweils 60 Zerkarien/Ultraschallbehandlung Verwendung fanden.

Tab. 2: Versuchsparameter der Experimente zur Wirkung von Ultraschall auf *Bucephalus polymorphus*-Zerkarien

Versuch Nr.	Schallkopf	% aufgenommene Leistung	Beschallungsdauer (s)	Mittlere eingebrachte Leistung (W)	Spezifischer Energieeintrag $W_{\text{spez.}}$ (kWh/L) <sup>1</sup>
1	S14	100	3	59,6	0,000985
2	S14	60	3	38,9	0,000649
3	S40	100	3	105,7	0,00176
4	S40	60	3	64,9	0,00108
5	S40	35	3	38,8	0,00064
6	S40	20	3	33,6	0,00056
7	S40	100	2	96,8	0,00107
8	S40	100	1	91,5	0,000508

<sup>1</sup>  $W_{\text{spez.}}$  = eingebrachte Energie (kWh) / Volumen (L)

### 3.3.1.3 Wirkung von UV- Licht

Unter Verwendung des UV-Entkeimers UV 400 (Tetratex®) sollte in Laborversuchen die Wirkung ultravioletter Strahlung auf Zerkarien von *B. polymorphus* eingehender untersucht werden. Dazu wurden bei Raumtemperatur fünf Zerkarien, welche durch Sektion von jeweils drei befallenen Dreikantmuscheln gewonnen wurden, in eine Petrischale mit 30ml Leitungswasser pipettiert. Nachfolgend wurde das Gefäß unter eine Stereolupe verbracht und die Anzahl der Kontraktionen der Zerkarien pro Minute erfasst. Die UV-Lampe mit einer Leistung von 5W (effektive UV-C-Strahlung 20%) wurde sodann mittig über den Rand der Petrischale gelegt, so dass der Abstand zur Wasseroberfläche weniger als ein Zentimeter sowie die maximale Entfernung zum Rand der Petrischale 3,5cm betrug. Die Schichtdicke des Wasservolumens belief sich auf ca. 5mm. Die Expositionsdauer variierte zwischen 10 und 30 s (Tab. 3). Nach einem Zeitraum von 45 Minuten wurde die Anzahl der Kontraktionen als Maß der Vitalität der behandelten Zerkarien erneut ermittelt. Die jeweiligen Versuche erfolgten dreimalig und wurden bei Raumtemperatur durchgeführt.

Tab. 3: Expositionsdauer und UV-C-Strahlungsdosis in den jeweiligen Laborversuchen

Gruppe Nr.	Expositionsdauer (s)	UV-C-Dosis (J/m <sup>2</sup> )*
1	Keine Exposition (Kontrolle)	-
2	10	950
3	20	1800
4	30	2850

(\* bei Vernachlässigung des Winkelfaktors und Berücksichtigung einer Wasserabsorption von 5%)

### 3.3.2 Feldversuche

#### 3.3.2.1 Ultraschall

In der Fischzuchtanlage Sproitz wurden im Rahmen eines Feldversuchs die im Labor untersuchten Bekämpfungsmaßnahmen unter naturnahen Bedingungen erprobt.

Zu diesem Zwecke wurden zwei GFP-Rinnen von 3,8 m Länge und einem eingestellten Hältervolumen von 1,04 m<sup>3</sup> mit 37 (Versuchsgruppe) bzw. 38 (Kontrollgruppe) *B. polymorphus*-freien Karpfen und jeweils 34 Regenbogenforellen besetzt. Die Becken wurden im Beobachtungszeitraum von 4 Wochen im Durchflussverfahren betrieben, wobei die Wasserzufuhr auf 60 L/min. eingestellt war. Die Wasserparameter variierten während der Versuchsdurchführung wie folgt:

Temperatur (°C):	17,1 - 24,1
Sauerstoffgehalt (mg/L):	4,4 – 7,6
pH-Wert:	8,8 – 9,0
NH <sub>4</sub> (mg/L):	0,3-0,4
NO <sub>2</sub> (mg/L):	0,01-0,05

Das zur Versorgung der Versuchsgruppe zugeführte Wasser wurde mit dem Ultraschallgerät UIP 4000 (Fa. Dr. Hielscher GmbH, Deutschland) beschallt. Die aufgenommene Leistung dieses Gerätes betrug 2650 W; die Leerlaufleistung liegt bei ca. 300 W (Herr Jänich, Dr. Hielscher GmbH, mündl. Mitt.). Die eingebrachte Leistung, welche sich aus der Differenz von aufgenommener und Leerlaufleistung berechnet, betrug somit etwa 2350 W. Der spezifische Energieeintrag  $W_{\text{spez.}}$  als Quotient aus eingebrachter Energie (kWh) und Volumen (L) ergab einen Wert von 0,000652 kWh/L.

Die Fische der Kontrollgruppe bekamen unbehandeltes Talsperrenwasser zugeführt.

Während der Versuchsdurchführung wurden die Tiere in unregelmäßigen zeitlichen Abständen durch Mitarbeiter der Kreba-Fisch GmbH mit konventionellen Futtermitteln versorgt sowie auftretende Verluste täglich dokumentiert. Der Versuch war auf einen Zeitraum von 34 Tagen angesetzt. Nachfolgend wurden die Fische nach Potsdam an das IfB transportiert und nach oben beschriebener Verdauungsmethode auf einen Befall mit *B.-polymorphus*-Metazerkarien untersucht.

### 3.3.2.2 UV-Licht

Zeitgleich zu den in der Kreba-Fisch GmbH durchgeführten Feldversuchen zur Wirkung von Ultraschall auf *B.-polymorphus*-Zerkarien wurde in einer dritten GFP-Rinne der Einfluss ultravioletter Strahlung auf das Überleben und/oder die Infektiosität der Trematodenlarven untersucht.

Das verwendete Versuchsbecken wurde ebenfalls mit Wasser auf ein Volumen von 1,04 m<sup>3</sup> angestaut und mit 37 bzw. 34 *B.-polymorphus*-freien Karpfen und Regenbogenforellen besetzt. Die Wasserzufuhr erfolgte wiederum kontinuierlich mit einem Volumenstrom von 60 L/min.; die Wasserparameter entsprechen den oben gemachten Angaben (Punkt 3.3.2.1).

Das einströmende Wasser wurde am Beckenzulauf unter Verwendung der UV Bio- Balance 36000 (Fa. UBBINK, Deutschland) mit ultraviolettem Licht behandelt. Die UV-C-Strahlung betrug ca. 10,8 W; die einwirkende Strahlendosis ergab einen Wert von ca. 58 J/m<sup>2</sup> (unter Annahme einer Absorption von 20% sowie einer Einwirkungszeit von 1,117 s).

Der Versuch zur Wirkung von UV-Strahlung auf *B.-polymorphus*-Zerkarien unter Feldbedingungen wurde gleichsam über 34 Tage durchgeführt. Die Tiere wurden während dieses Zeitraumes ebenfalls von Mitarbeitern der Kreba-Fisch GmbH betreut. Nach Beendigung dieses Experiments erfolgte der Transport der Fische an das IfB, um sie mittels künstlicher Verdauung qualitativ und quantitativ auf einen erfolgten Metazerkarienbefall zu untersuchen.

## 3.4 Statistik

Die Termini Befallsintensität (Anzahl von Parasiten einer Art je infiziertem Fisch), Prävalenz (Befallsrate, prozentualer Anteil infizierter Fische an der Gesamtzahl der untersuchten Individuen) und Abundanz (Anzahl von Parasiten einer Art je untersuchtem Fisch) folgen den Empfehlungen von (Bush et al., 1997). Der statistische Vergleich der (mittleren) Befallsintensitäten bei verschiedenen Individuen bzw. (mittleren) Abundanzen wurde unter Verwendung des Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Differenzen der Prävalenz verschiedener Versuchsgruppen wurden mit dem Chi-Quadrat-Test verglichen. Mittelwertvergleiche normalverteilter Daten wurden bei vorliegender Varianzgleichheit mittels T-Test vorgenommen. Im Falle nicht normalverteilter Daten erfolgte der

Mittelwertvergleich mit dem Mann-Whitney-U-Test. Die Zurückweisung der Nullhypothese erfolgte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,05$ .

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1. Vorkommen von Parasiten in der Fischhälterungsanlage Sproitz

#### 4.1.1 Befall von Fischen der Hälterungsanlage Sproitz mit metazoischen Parasiten

In allen untersuchten Fischen der Hälterungsanlage Sproitz wurde ein Befall mit metazoischen Parasiten diagnostiziert. Insgesamt kamen in den 7 untersuchten Fischarten 11 Schmarotzerspezies vor, welche zu den systematischen Taxa Cestoda, Trematoda, Monogenea und Crustacea gehören. Der Vergleich der Parasitenfauna der verschiedenen Wirtsfische offenbarte artspezifische Unterschiede. In Tabelle 4 sind die in den jeweiligen Wirten nachgewiesenen Parasiten zusammengefasst.

Tab. 4: Übersicht über die in Fischen der Hälteranlage Sproitz nachgewiesenen Parasiten

Fischart	Parasitenart
Karpfen	Monogenea <i>Gyrodactylus</i> sp. <i>Dactylogyrus</i> sp. <i>Diplozoon</i> sp. Cestoda <i>Paradilepis scolecina</i> <i>Khawia</i> sp. Trematoda <i>B. polymorphus</i> Crustacea <i>Argulus</i> sp. <i>Ergasilus</i> sp.
Schleie	Trematoda <i>Hysteromorpha triloba</i> Crustacea <i>Ergasilus</i> sp.
Graskarpfen	Trematoda <i>B. polymorphus</i>

Plötze	Trematoda <i>B. polymorphus</i> <i>Hysteromorpha triloba</i> <i>Posthodiplostomum cuticola</i>
Bleie	Trematoda <i>B. polymorphus</i>
Regenbogenforelle	Trematoda <i>Bucephalus polymorphus</i> <i>Diplostomum</i> sp. Crustacea <i>Ergasilus</i> sp. <i>Argulus</i> sp.
Zander	Trematoda <i>B. polymorphus</i>

Die Befallsintensitäten mit den jeweiligen Schmarotzern waren meist nur gering und betragen in der Regel weniger als 10 Parasiten. Eine Ausnahme bildeten die Infektionen mit *B.-polymorphus*-Metazerkarien, welche z.B. generell in höheren Anzahlen zu verzeichnen waren und im Blei (*Abramis brama*) Befallsintensitäten von mehreren Tausend Individuen je infiziertem Fisch erreichten.

#### 4.1.2 Infektion von *Dreissena polymorpha*

In den untersuchten Dreikantmuscheln wurden häufig weiße, verzweigte Sporozysten festgestellt (Abb. 2), welche eine Länge von bis zu 2 cm aufwiesen und zahlreiche Zerkarien enthielten (Abb. 3).

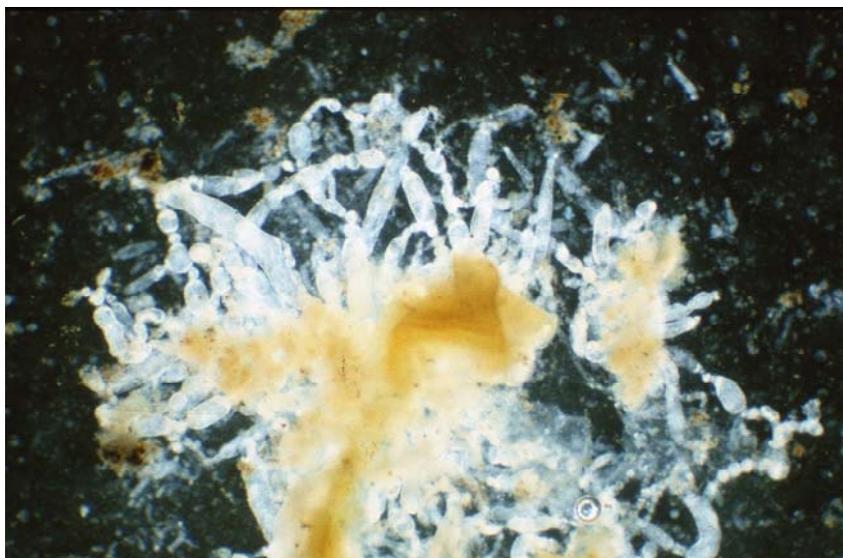


Abb. 2:  
Sporozysten  
aus *Dreissena  
polymorpha*,  
Übersichts-  
präparat.



Abb. 3: Sporozysten aus *D. polymorpha*: Keimschläuche mit Zerkarien unterschiedlichen Reifegrades

Die Zerkarien besaßen zwei ausgeprägte, lange Schwanzfäden (Abb. 4) und wurden aufgrund ihrer Morphometrie als Larvalstadien von *Bucephalus polymorphus* identifiziert. Die Sektion von 537 Muscheln ergab eine Befallsrate von insgesamt 18,6 %.



Abb. 4: *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarie

Die dargestellten Verfahren, welche zum Austritt von Zerkarien aus *D. polymorpha* angewandt wurden, waren in unterschiedlichem Maße zum Nachweis des Parasitenbefalls

geeignet. Die Exposition der Mollusken mit Kunstlicht (Tab. 1; Versuche Nr. 2, 6, 7) war nicht ausreichend, um einen *B.-polymorphus*-Befall sicher zu diagnostizieren. Im Unterschied dazu rief die Überführung infizierter Mollusken in direktes Sonnenlicht innerhalb von 45 Minuten zuverlässig einen Ausstoß von Zerkarien hervor (Tab. 1; Versuche Nr. 3, 4, 5).

#### **4.1.3 Infektion von Zandern (*Sander lucioperca*)**

Die parasitologische Untersuchung der künstlich infizierten Zander ergab bei allen Tieren einen positiven Befund. Sämtliche Fische wiesen *B.-polymorphus*-Infektionen auf, so dass die Prävalenz bei 100% lag. Die Befallsintensität schwankte zwischen einem und 103 Würmern je Fisch. Der Reifezustand der Gonaden der Trematoden war unterschiedlich und variierte mit der Dauer der Infektion. Unter den gegebenen Bedingungen waren gravide Parasiten etwa 3 Wochen p.i. nachzuweisen.

#### **4.2 Infektiösität von *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien**

Im Verlaufe des ersten Experimentes verendeten einige der eingesetzten Fische bzw. konnten am Versuchsende nicht mehr aufgefunden werden. Aus diesem Grunde sank die Zahl der Probanden auf 9 Regenbogenforellen, 8 Flussbarsche, 16 Güstern und 6 Plötzen. Aus den erzielten Befunden lassen sich somit zwar qualitative Aussagen ableiten, aber nur noch bedingt auch quantitative Vergleiche herstellen.

Mit Ausnahme des Flussbarsches erfolgte eine Infektion in allen Fischarten bereits innerhalb eines 4stündigen Expositionszeitraumes. Auch nach 8stündiger Exposition ergab die Untersuchung der Barsche auf Metazerkarienbefall ausschließlich negative Befunde.

Die Anzahl der nach Ablauf von 4 Wochen in den Geweben nachgewiesenen Metazerkarien variierte zwischen den verschiedenen Fischarten und Expositionsgruppen (Abb. 5). Der Vergleich des Metazerkarienbefalls der 4-Stunden-Gruppen offenbarte statistisch signifikante Differenzen in der mittleren Befallsintensität zwischen der Güster (0,97 Parasiten/g) und der Plötze (0,09) sowie zwischen Güster und Flussbarsch (0). (Weitere statistische Vergleiche sind auf Grund der unzureichenden Anzahl an Probanden unterlassen worden.) Bei den Versuchsgruppen, welche 8 Stunden lang exponiert wurden, traten signifikante Differenzen zwischen der mittleren Befallsintensität von Güster (1,52 Parasiten/g) und der Regenbogenforelle (0,10) als auch zwischen Güster und Flussbarsch (0) auf.

Die Exposition der Fische gegen *B.-polymorphus*-Zerkarien führte mit zunehmender Infektionsdauer zu einem Anstieg der mittleren Befallsintensität. So wiesen mit Ausnahme des Flussbarsches die 8-Stunden-Gruppen stets höhere Befallsintensitäten auf als ihre Artgenossen, welche nur über einen Zeitraum von 4 Stunden exponiert worden waren.

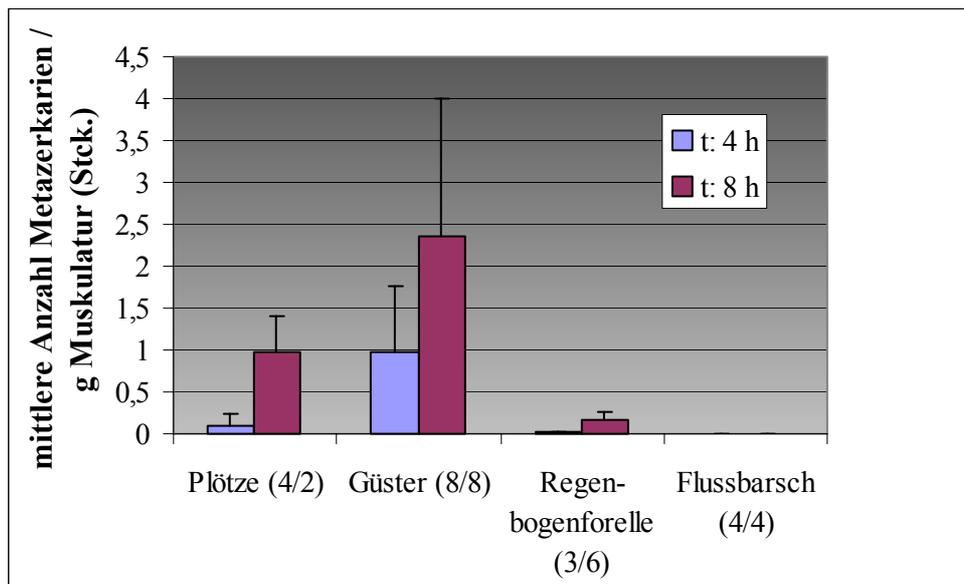


Abb. 5: Vergleich der mittleren Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) von Plötzen (*Rutilus rutilus*), Güstern (*Abramis bjoerkna*), Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*) und Flussbarschen (*Perca fluviatilis*) nach 4- bzw. 8stündiger Exposition mit *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien (Anzahl untersuchter Fische je Versuchsgruppe).

Aufgrund der langanhaltenden ungünstigen Witterungsverhältnisse im Sommer 2003 traten auch bei der Wiederholung des Infektionsversuches mit Karpfen und Regenbogenforellen zahlreiche Verluste auf. Im Verlaufe der sich an die Infektion der Fische anschließenden Hälterungsperiode zur Gewährleistung der Weiterentwicklung der Parasiten zum Metazerkarienstadium verendeten zehn der elf eingesetzten Regenbogenforellen; der Probenumfang der Karpfen sank bei der 4-Stunden-Gruppe auf 13 und bei der 8-Stunden-Gruppe auf 12 Individuen.

In den Kiemen der Regenbogenforelle ließ sich nur eine Metazerkarie nachweisen (0,17 Parasiten/g); in der Muskulatur wurden keine Parasiten festgestellt. Sämtliche Gewebeproben aller exponierten Karpfen waren negativ.

## 4.3 Technologische Verfahren

### 4.3.1 Laborexperimente

#### 4.3.1.1 Wassersturz

Die Analyse der Untersuchungen zu Effekten eines Aufpralls der in einem definierten Wasservolumen befindlichen *B.-polymorphus*-Zerkarien auf eine ebene Fläche zeigte, dass

durch die Einwirkung mechanischer Kräfte morphologische Schädigungen der Parasitenlarven hervorgerufen werden können. Bei den behandelten Individuen kam es zum Teil zum Verlust eines oder beider Schwanzanhänge; einige Zerkarien wurden durch die im Versuch einwirkenden Kräfte getötet (Abb. 6 bis 10).

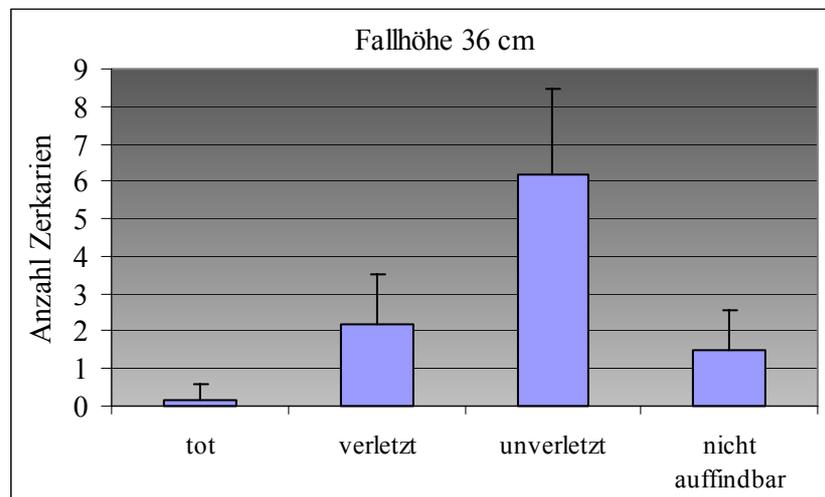


Abb. 6: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 36 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

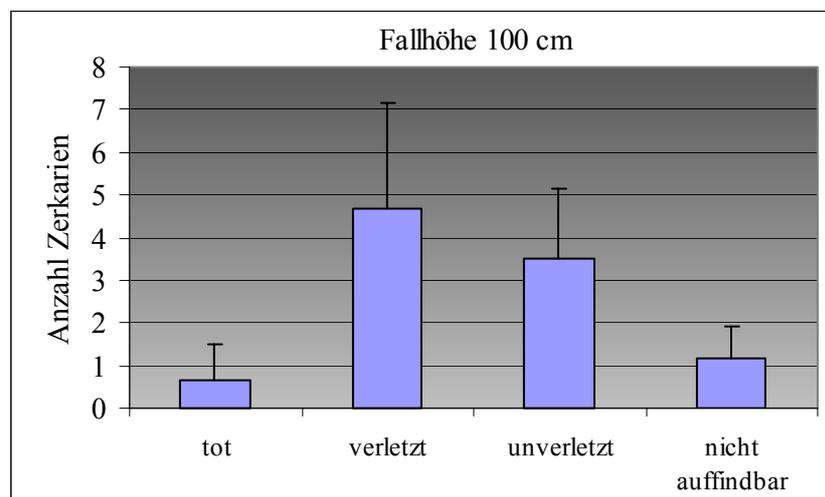


Abb. 7: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 100 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

Bereits ab einer Fallhöhe von 36 cm ließ sich eine signifikante Verringerung der Anzahl unverletzter Individuen feststellen (Chi-Quadrat-Test (Pearson),  $p < 0,001$ ). Durch die Ausweitung der Fallhöhe von 36 auf 100 cm wurde nochmals eine Verbesserung der

traumatischen Wirkung bzw. Erhöhung der Mortalität erzielt (Chi-Quadrat-Test (Pearson),  $p = 0,001$ ).

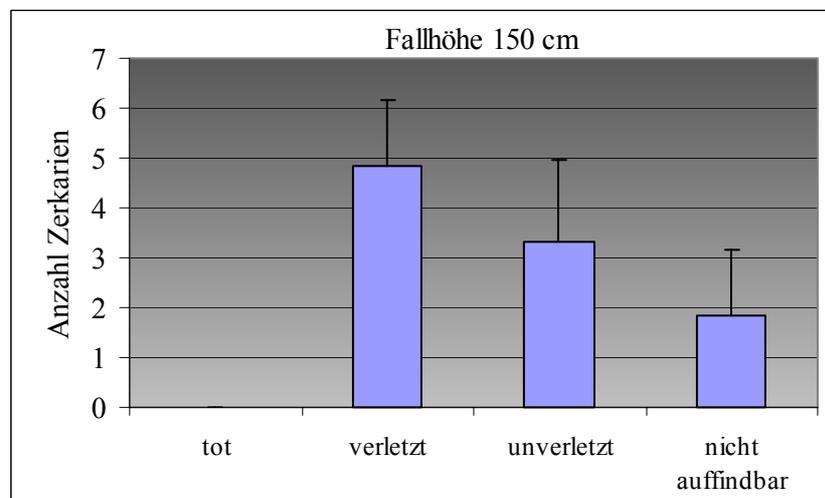


Abb. 8: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 150 cm,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien.

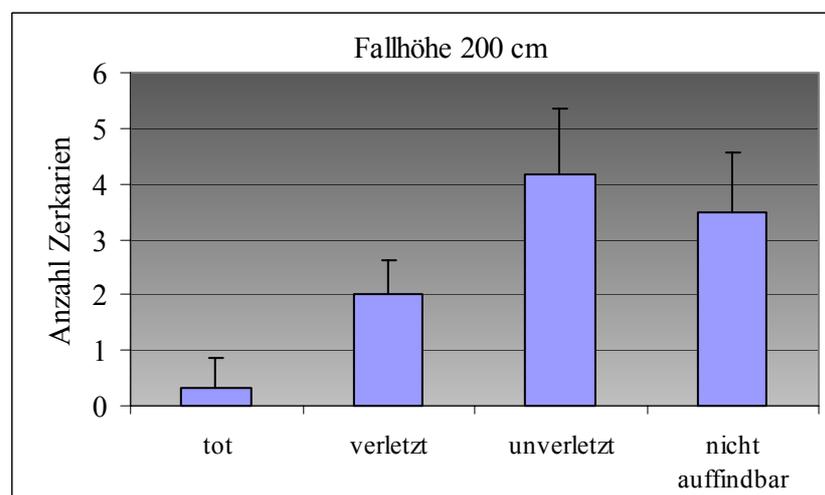


Abb. 9: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Aufprall aus einer Höhe von 200 cm,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien.

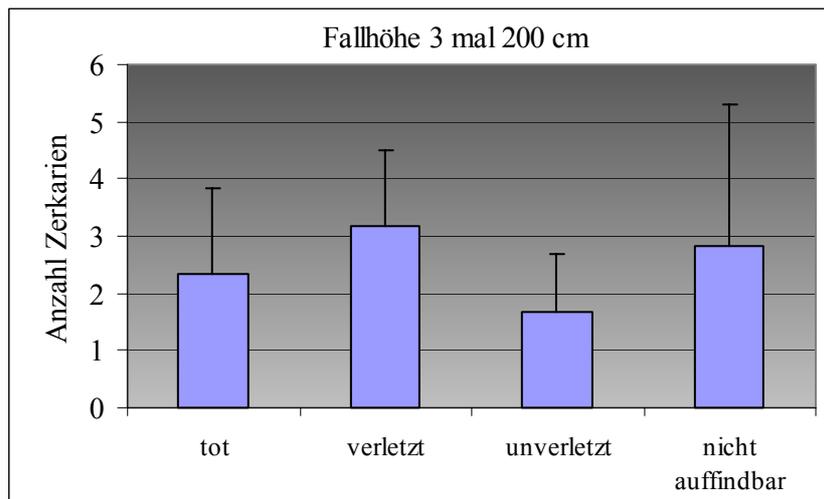


Abb. 10: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, verletzter, unverletzter und nicht mehr auffindbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach dreimaligem Aufprall aus einer Höhe von 200 cm, n = 6 x 10 Zerkarien.

#### 4.3.1.2 Ultraschall

Die Analyse der Anwendung von Ultraschall ergab im Zusammenspiel von Intensität und Dauer der Behandlung eindeutige Schädigungen der Zerkarien. Bei allen durchgeführten Laborexperimenten führte die Ultraschallanwendung gegen *B.-polymorphus*-Zerkarien zu einer signifikanten Erhöhung des Anteils toter bzw. moribunder Parasitenlarven (Chi-Quadrat-Test (Pearson),  $p < 0,05$ ). Die Zahl der unverletzten Probanden sank sowohl mit steigender Intensität der Beschallung als auch mit Ausweitung der Beschallungsdauer (Abb. 11 bis 18).

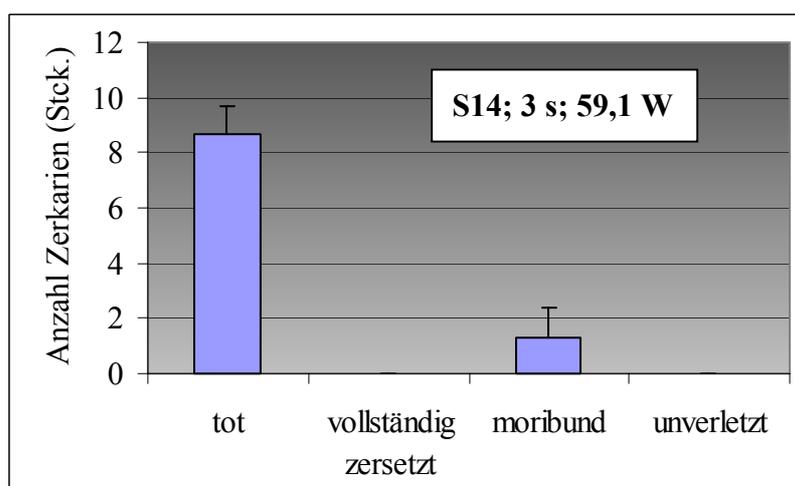


Abb. 11: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}} 0,000985 \text{ kWh/L}$ , n = 6 x 10 Zerkarien).

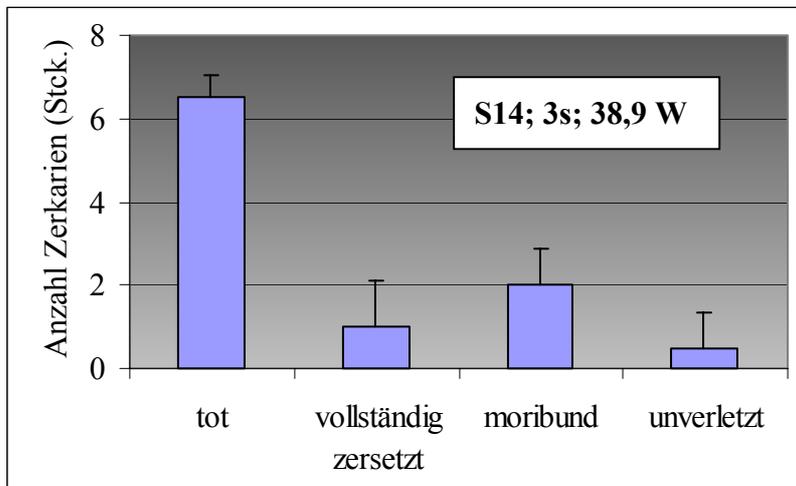


Abb. 12: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,000649 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

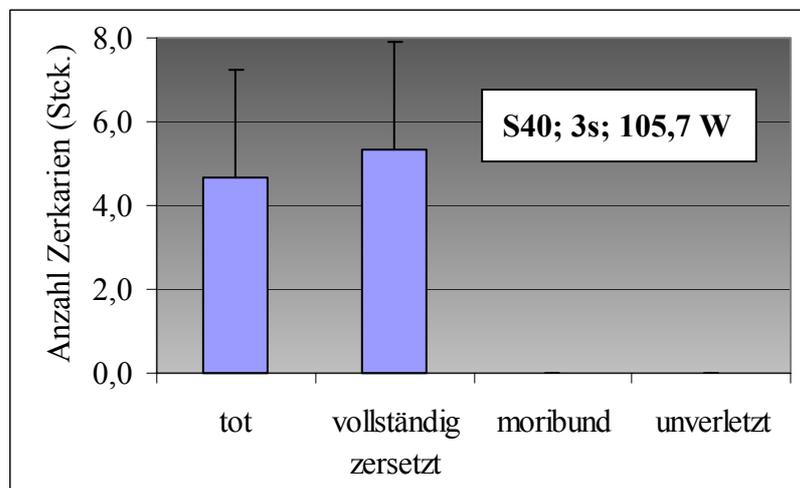


Abb. 13: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00176 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

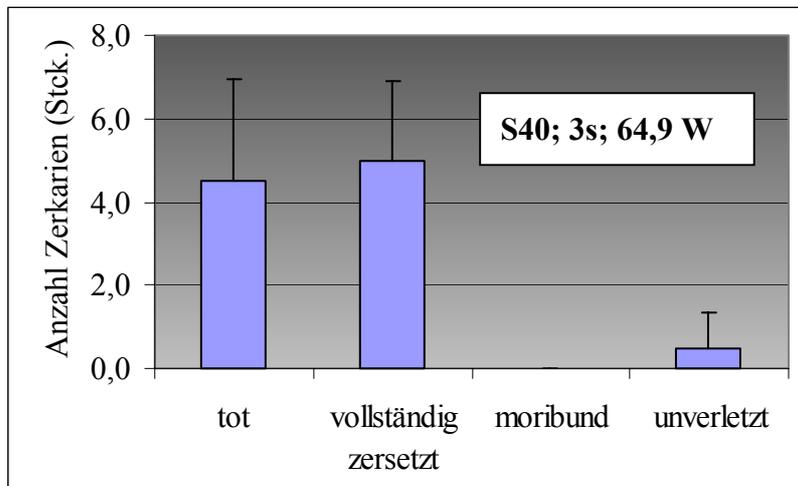


Abb. 14: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00108 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

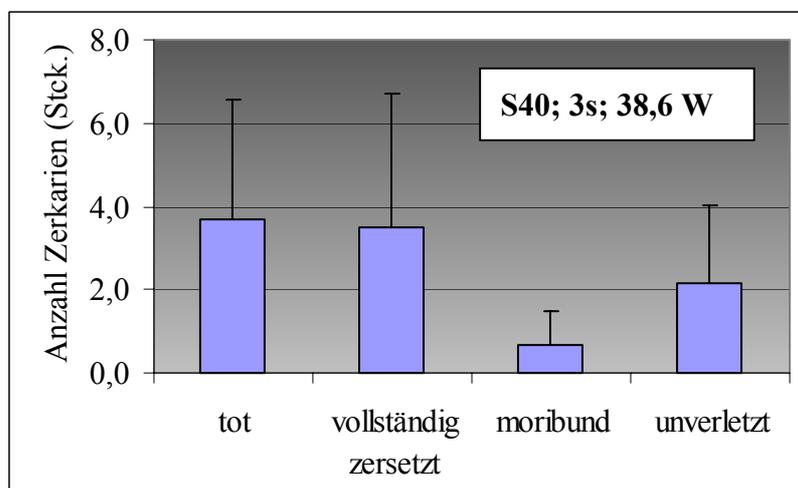


Abb. 15: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00064 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

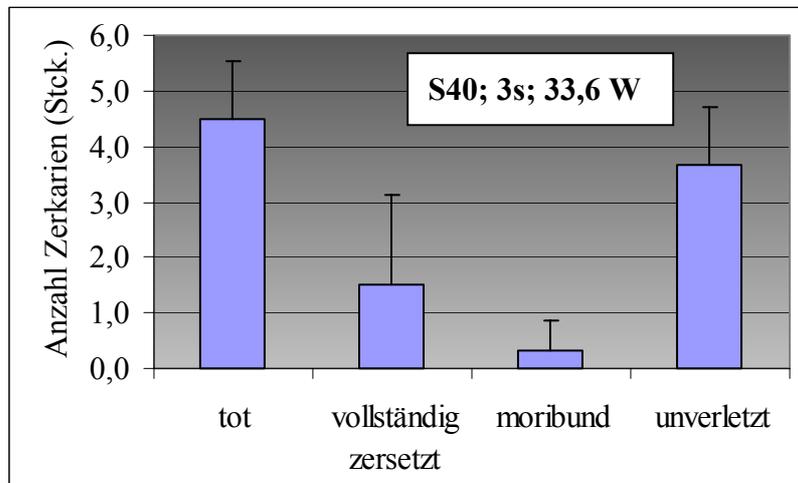


Abb. 16: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00056 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

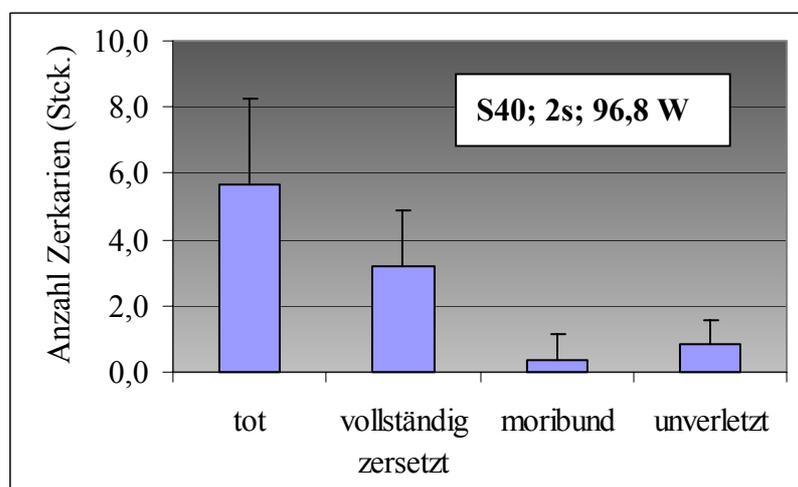


Abb. 17: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,00107985 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

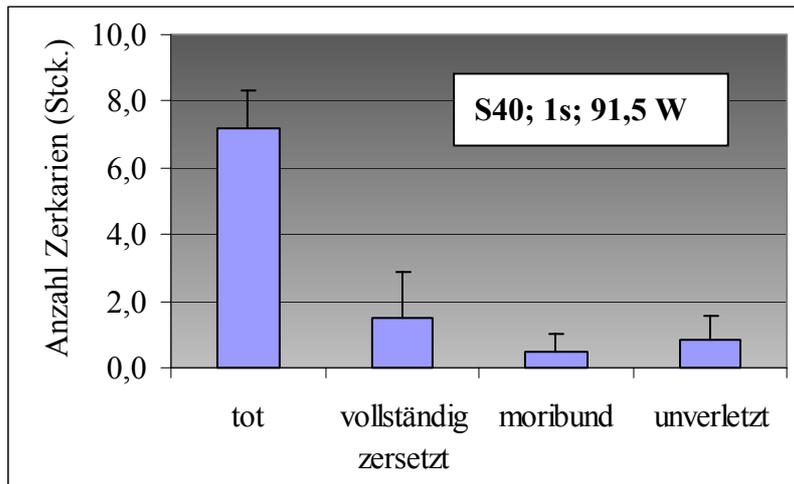


Abb. 18: Mittlere Anzahl (+S.D.) toter, vollständig zersetzter, moribunder oder unverletzter *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien nach Behandlung mit Ultraschall ( $W_{\text{spez.}}$  0,000508 kWh/L,  $n = 6 \times 10$  Zerkarien).

Zwischen der in den verschiedenen Versuchen durch Ultraschall in die Proben eingebrachten Energie und der Anzahl toter und vollständig zersetzter Zerkarien bestand eine positive Korrelation (Pearson,  $p = 0,026$ ) mit einem Korrelationskoeffizienten von  $r = 0,767$ ; der Regressionskoeffizient war 0,59 (Abb. 19).

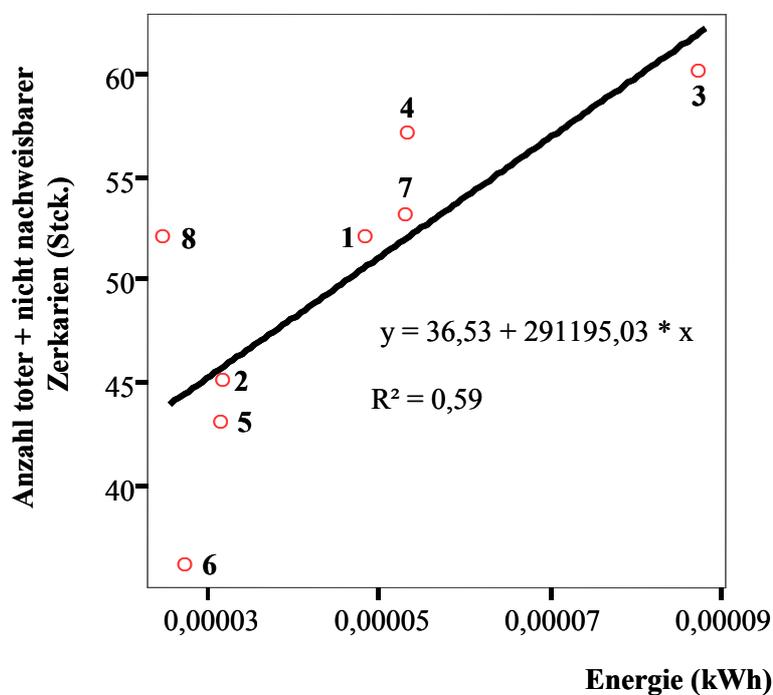


Abb. 19: Zusammenhang zwischen der eingebrachten Energie und der Anzahl toter und nicht mehr nachweisbarer *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien.

Geschädigte Zerkarien wiesen zunächst einen Verlust ihrer Gabelschwanzanhänge auf; sie blieben trotz dieses Defekts noch über einen längeren Zeitraum vital. Bei längerer Exposition wurden die Körperhüllen punktiert, durch die entstandenen Defekte drang Körperflüssigkeit nach außen und die Tiere starben in kürzester Zeit. Schließlich wurden die Parasiten vollständig zerrissen, bis lediglich Gewebstrümmer im Beobachtungsfeld unter dem Mikroskop zu sehen waren.

#### 4.3.1.3 UV- Licht

Die Bestrahlung von Zerkarien mittels einer 5W-UV-Lampe führte vereinzelt zu einer signifikanten Verringerung der Bewegungsaktivität der Parasiten. Generell variierte die Aktivität der Zerkarien sowohl innerhalb als auch zwischen den Gruppen sehr stark (Abb. 20). In allen 3 Versuchsansätzen waren jedoch vor Beginn der UV-Exposition keine Unterschiede in der Anzahl der Kontraktionen der Zerkarien festzustellen (T-Test,  $p > 0,05$ ). Während sich in den Kontrollgruppen auch noch nach 45 Minuten keine Aktivitätsminderung beobachten ließ, verursachte die UV-Bestrahlung der Parasiten über einen Zeitraum von 20 s eine hochsignifikante (Versuche 1 und 3; t-Test,  $p = 0,01$  bzw.  $0,002$ ) bzw. tendenzielle (Versuch 2, t-Test,  $p = 0,07$ ) Verringerung der Anzahl der Kontraktionen. Die Bestrahlungsdauer von 30 s führte nur im 3. Versuch tendenziell zu einer reduzierten Aktivität der *B.-polymorphus*-Zerkarien (T-Test,  $p = 0,07$ ).

Zwischen Bestrahlungsdauer und dem Quotienten aus der Anzahl vollständiger Kontraktionen von *B.-polymorphus*-Zerkarien nach und vor Einwirkung der UV-C-Strahlung bestand eine signifikante negative Korrelation (Pearson,  $r = -0,709$ ;  $p = 0,01$ ). Der Korrelationskoeffizient (Abb. 21) war 0,5.

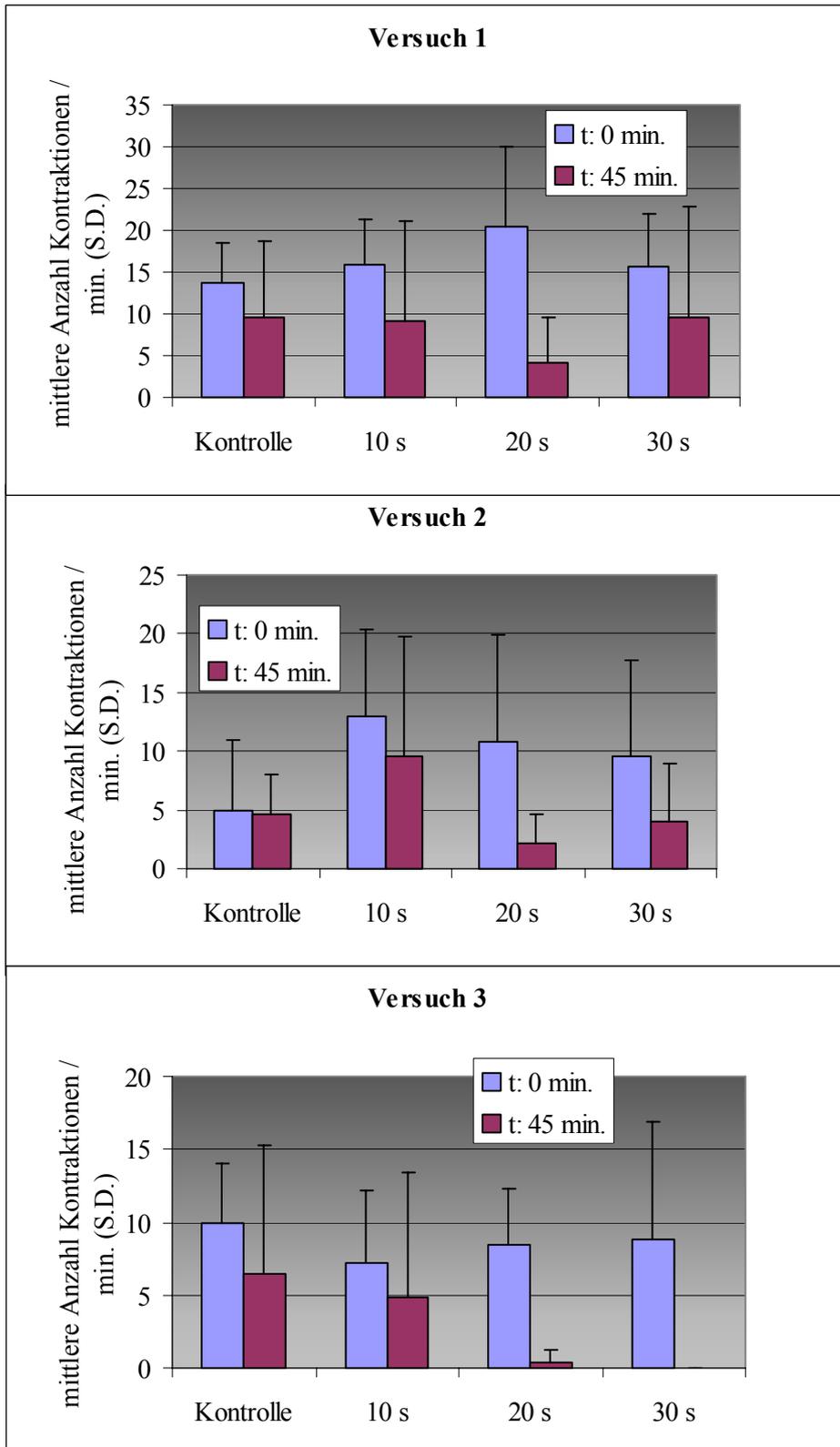


Abb. 20: Mittlere Anzahl (+ S.D.) vollständiger Kontraktionen je Minute von *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien vor und 45 Minuten nach UV-Bestrahlung über einen Zeitraum von 10, 20 oder 30 s (i.e. 950, 1800 bzw. 2850 J/m<sup>2</sup>).

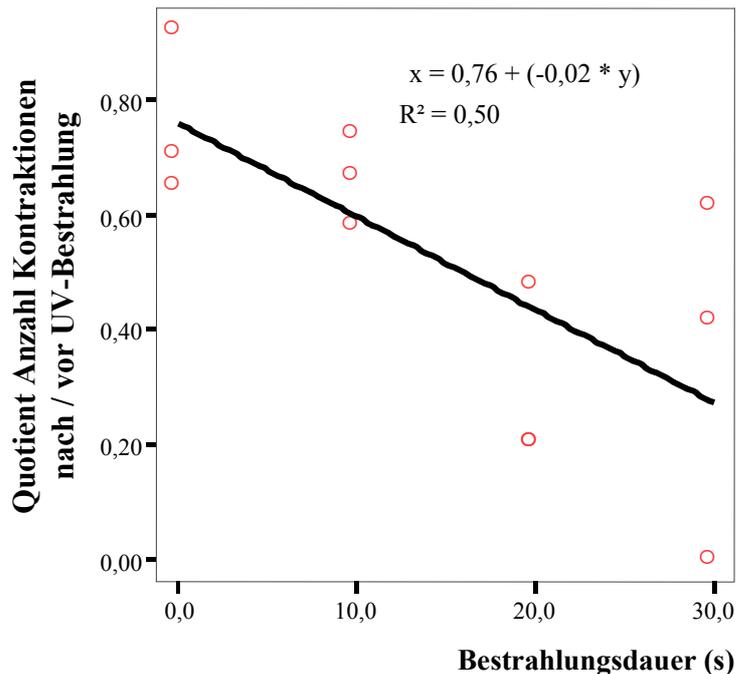


Abb. 21: Zusammenhang zwischen dem Quotienten aus der Anzahl vollständiger Kontraktionen von *B.-polymorphus*-Zerkarien nach und vor Einwirkung von UV-C-Strahlung und der Bestrahlungsdauer.

## 4.3.2 Feldversuche

### 4.3.2.1 Ultraschall

Aufgrund der langanhaltend hohen Temperaturen im Sommer 2003 waren bei der Durchführung des Feldversuchs nennenswerte Fischverluste zu verzeichnen. So verendeten in der Versuchs- und in der Kontrollgruppe zahlreiche Tiere, so dass die Anzahl der untersuchten Fische auf 4 Regenbogenforellen und 30 Karpfen reduziert war. Darüber hinaus traten bei der Anwendung des Ultraschallgerätes technische Probleme auf. Nach 17 Tagen ununterbrochener Beschallung setzte die Sonotrode für mehrere Stunden aus. Nachdem dieses Problem behoben werden konnte, versagte das Gerät ein 2. Mal am 20. Versuchstag. Aufgrund dieser Unregelmäßigkeiten musste dieser Versuch dann vorzeitig abgebrochen werden.

Die parasitologische Untersuchung von 4 Regenbogenforellen ergab einen positiven Befund. Die Befallsrate lag bei 100 %; die mittlere Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) ergab 3,2 (1,7) Parasiten / g Muskulatur bzw. 23,6 (8,9) Parasiten / g Kiemengewebe (Abb. 22).

Die exponierten Karpfen wiesen einen geringeren Befall mit *B.-polymorphus*-Metazerkarien auf als die gleichartig behandelten Regenbogenforellen. Von den untersuchten Karpfen waren 21,4 % mit *B. polymorphus* infiziert. Die mittlere Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) betrug 0,02 (0,06)

Parasiten / g Muskulatur bzw. 0,03 (0,13) Parasiten / g Kiemengewebe. Im (unbereinigten) Vergleich zur Kontrollgruppe, bei der die Karpfen eine Befallsrate von 85,7 % und mittlere Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) von 0,46 (0,93) Metazerkarien / g Muskulatur bzw. 0,12 (0,19) Metazerkarien / g Kiemengewebe zeigten, traten durch die Ultraschallbehandlung signifikante Verringerungen in der Befallsrate ( $p = 0,001$ , Chi-Quadrat Test (Pearson)) und Befallsintensität ( $p = 0,23$  (Kiemen) sowie  $p = 0,001$  (Muskulatur), U-Test nach Mann und Whitney) auf.

#### 4.3.2.2 UV-Licht

Bei der Versuchsgruppe, welche mit UV-bestrahltem Zulaufwasser versorgt wurde, waren ebenfalls Verluste zu verzeichnen, so dass nach 4wöchiger Versuchsdauer 6 Regenbogenforellen und 25 Karpfen zur Auswertung zur Verfügung standen.

Die Untersuchung der Regenbogenforellen auf *B. polymorphus*-Befall offenbarte eine Prävalenz von 100 % sowie mittlere Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) von 6,1 Parasiten (8,4) / g Muskulatur bzw. 10,8 (7,4) Metazerkarien / g Kiemengewebe. Im Vergleich zu den Regenbogenforellen der Kontrollgruppe, welche eine Befallsrate von 100 % sowie mittlere Befallsintensität von 2,47 (2,85) Metazerkarien / g Muskulatur bzw. 23,7 (16,8) Metazerkarien / g Kiemengewebe aufwiesen, war die Verringerung der mittleren Anzahl von Metazerkarien je g Kiemengewebe tendenziell signifikant (t-Test,  $p = 0,09$ ).

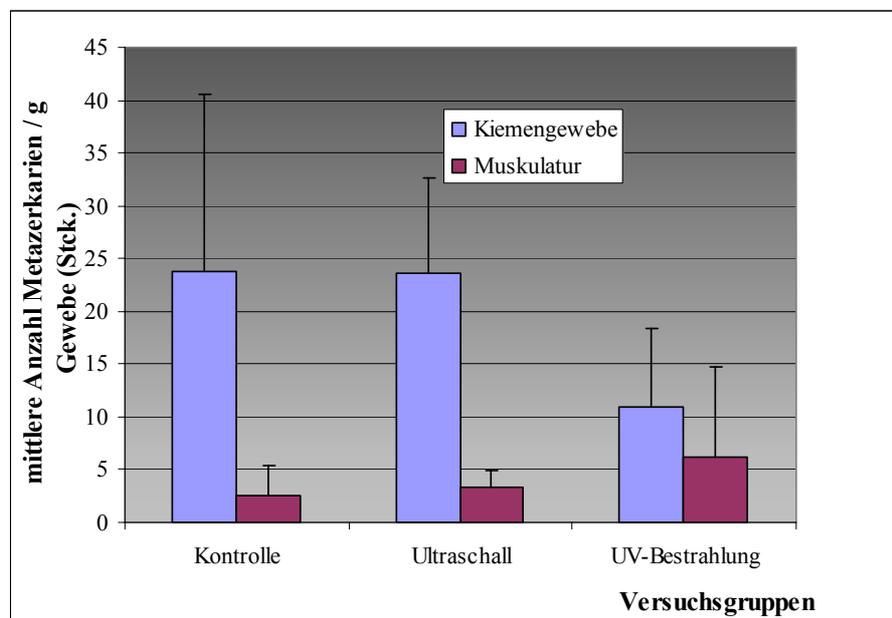


Abb. 22: Mittlere Anzahl ( $\pm$  S.D.) von *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarien im Kiemengewebe und in der Muskulatur der Regenbogenforelle nach 34tägiger Exposition Vergleich Kontrolle UV Ultraschall Rf

Die Karpfen dieser Versuchsgruppe waren ebenfalls mit *B. polymorphus* infiziert. Auch in dieser Versuchsgruppe wiesen die Karpfen wiederum einen geringeren Befall als die Regenbogenforellen auf. Die Prävalenz war 64,2 %; die mittleren Befallsintensitäten erreichten Werte von 0,18 (0,34) Metazerkarien / g Muskulatur bzw. 0,15 (0,28) Metazerkarien / g Kiemengewebe. Im Vergleich zu den Fischen der Kontrollgruppe, bei denen eine Befallsrate von 85,7 % und mittlere Befallsintensität ( $\pm$  S.D.) von 0,46 (0,93) Metazerkarien / g Muskulatur bzw. 0,12 (0,19) Metazerkarien / g Kiemengewebe vermerkt wurden, bestanden keine signifikanten Unterschiede (Chi-Quadrat-Test (Pearson), t-Test,  $p > 0,05$ ).

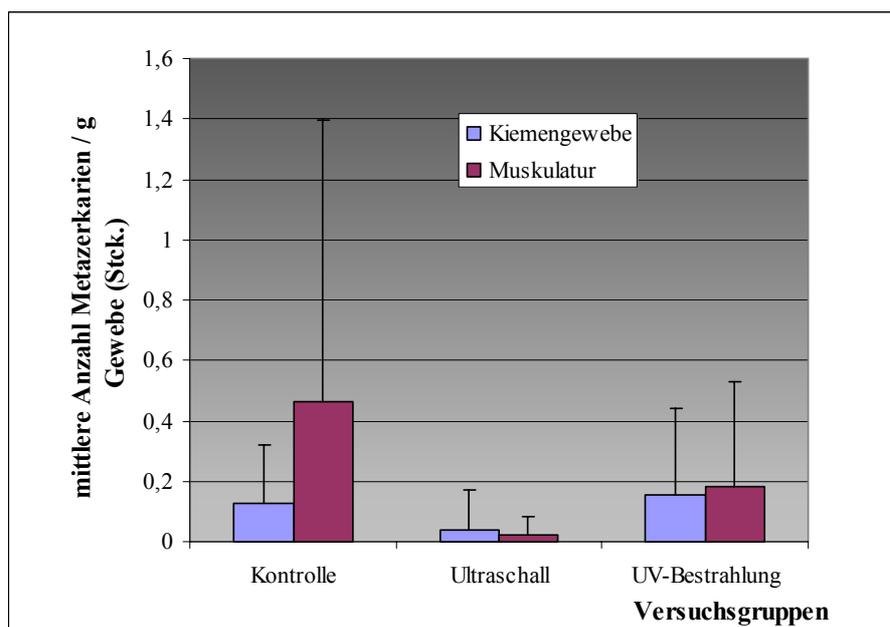


Abb. 23: Mittlere Anzahl ( $\pm$  S.D.) von *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarien im Kiemengewebe und in der Muskulatur von Karpfen nach 34tägiger Exposition Vergleich Kontrolle UV Ultraschall

## 5 DISKUSSION

Der Trematode *B. polymorphus* ist in Europa weit verbreitet (Baturu, 1977, 1978, 1980; Ejsymont, 1970; Ergens et al., 1975; Grabda und Grabda, 1967; Molnar, 1969; Pojmanska, 1985; Pucilowska, 1969; Taskinen et al., 1991; Wierzbicka, 1977; Wierzbicka et al., 1982) und wurde auch in Deutschland schon mehrfach nachgewiesen (Odening, 1978; Pietrock, 1998; Pohl, 1954; Reimer, 2000; Schäfer und Hoffmann, 1985; Schuster et al., 1998). Die Artdetermination von Vertretern der Familie Bucephalidae ist jedoch nicht in jedem Falle einfach und führte mehrfach zu Missverständnissen und Fehlinterpretationen. In der vorliegenden Studie konnte jedoch aufgrund morphologischer und morphometrischer

Merkmale der in den verschiedenen Experimenten gewonnenen unterschiedlichen Entwicklungsstadien (Mirazidium, Zerkarie, Metazerkarie, Adultus) eine eindeutige **Identifikation** erfolgen und Zuordnung des Parasiten zur Spezies *B. polymorphus* vorgenommen werden.

Im Zusammenhang mit dem Vorkommen dieses Parasiten ist gelegentlich auch über die von ihm verursachten Verluste (Schäfer und Hoffmann, 1985) und pathogenen Schädigungen berichtet worden. Baturo (1978) beobachtete, dass bereits 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 u.a. Hyperämien, Hämorrhagien, Ödeme sowie Nekrosen und Geschwüre nachweisen (Baturo, 1980; Körting, 1992). Massenbefall mit *B.-polymorphus*-Metazerkarien und damit einhergehende hohe Mortalitäten bei Cypriniden und anderen Fischarten sind in natürlichen Gewässern u.a. von Hoffmann et al. (1990) und Paperna (1996, zit. bei Diler und Yildirim 2003) beschrieben worden. *Bucephalus-polymorphus*-Infektionen sind bei Fischen somit durchaus von gesundheitlicher Relevanz.

Die **Parasitenfauna der Fische aus der Hälterungsanlage Sproitz** ist relativ artenarm. Dies ist jedoch ein typisches Merkmal von Individuen künstlicher Systeme. Die nachgewiesenen Schmarotzerspezies sind i.d.R. ubiquitär verbreitete Formen und oftmals homoxene Arten, wie z.B. *Dactylogyrus* sp., *Gyrodactylus* sp., *Argulus* sp. und *Ergasilus* sp., welche im Ablauf ihres Lebenszyklus nur eine Wirtskategorie benötigen. Derart einfache Entwicklungskreisläufe können sich daher auch unter den im Vergleich zu natürlichen Gewässern vorhandenen einseitigen Bedingungen einer Fischzuchtanlage etablieren und zu rezidivierenden Infektionen führen. Im Gegensatz zu den homoxenen Arten wurden neben *B. polymorphus* noch 2 weitere Trematodenspezies (*Diplostomum* sp., *Hysteromorpha triloba*) nachgewiesen, deren komplizierte Entwicklung das Vorhandensein mehrerer Wirtskategorien erfordert. Der für *Diplostomum* sp. notwendige erste Zwischenwirt (*Lymnaea* spp.; *Radix* spp.) ist in der Hälteranlage Sproitz ebenfalls vorhanden; die als Endwirte fungierenden Möwen (*Diplostomum* sp.) bzw. Kormorane (*H. triloba*) sind bei der Begehung der Anlage gleichsam gesichtet worden. Es ist somit davon auszugehen, dass unter den gegenwärtigen Bedingungen auch weiterhin Infektionen mit genannten Trematoden auftreten. Da des weiteren anzunehmen ist, dass in der Talsperre Quitzdorf noch zahlreiche andere Parasitenspezies verbreitet sind, kann die Möglichkeit eines Befalls der Fische aus der Hälterungsanlage Sproitz mit weiteren Parasitenarten nicht ausgeschlossen werden. Potenziell wird es sich bei den aus der Talsperre eingeschleppten Parasitenarten jedoch überwiegend um Generalisten handeln, da Parasiten mit hoher Wirtsspezifität gegenüber den gehälterten Fischarten auch an das natürliche Vorkommen dieser Wirte in der Talsperre gebunden wären.

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.

Die beobachteten Befallsintensitäten mit den verschiedenen Schmarotzern waren meist nur gering. Parasitäre Infektionen sind aber typischerweise dadurch gekennzeichnet, dass wenige Wirte stark befallen und die Mehrheit der Individuen einer Population nur mittel- bis geringfügig infiziert sind (Crofton, 1971; Esch und Fernandez, 1993). Das Fehlen von stark parasitierten Wirtsfischen ist somit vermutlich auf den geringen Stichprobenumfang zurückzuführen, welcher vorwiegend auf qualitative Ergebnisse fokussierte. Eine Ausnahme von dieser Situation bildete der *B.-polymorphus*-Befall der Regenbogenforellen. Sämtliche untersuchten Tiere offenbarten einen Massenbefall und deuten somit darauf hin, dass dieser Erreger im Gebiet der Hälteranlage Sproitz optimale Existenzbedingungen findet. Dieser Befund bestätigt sich in den Beobachtungen der Kreba Fisch GmbH, denen zufolge in den letzten Jahren eine Zunahme der Eutrophierung der zur Wasserversorgung der Hälterungsanlage genutzten Talsperre Quitzdorf eingetreten ist, welche u.a. eine Massenvermehrung von *Dreissena polymorpha* nach sich zog. Die hohen Abundanzen dieser als 1. Zwischenwirt von *B. polymorphus* dienenden Muscheln erleichtern die Übertragung und Ausbreitung dieses Trematoden und tragen somit zum Verlust an Fischen in der Anlage bei.

Die parasitologischen Untersuchungen von *D. polymorpha* offenbaren einen *B.-polymorphus*-Befall der Muscheln mit einer Gesamtprävalenz von etwa 20% und zeigen somit, dass sich der Trematode in der Hälterungsanlage Sproitz wohl etabliert hat. Die starke Durchseuchung der Bestände des 1. Zwischenwirtes führt dazu, dass in der warmen Jahreszeit fortwährend Zerkarien verfügbar sind, die zur Infektion der gehälterten Fische und nachfolgend zu ökonomischen Verlusten führen.

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 zu den aufgeführten Untersuchungen anderer Autoren sind die Befallsraten der Dreikantmuschel in der Hälteranlage Sproitz daher als relativ hoch einzustufen. Die weitere Entwicklung dieses Wirt-Parasit-Verhältnisses ohne Ergreifung von Gegenmaßnahmen lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht abschätzen. Da die Hälterungsanlage Sproitz im Durchflussverfahren betrieben wird, werden mit dem Zulaufwasser fortwährend auch Trematodeneier und Mirazidien eingeschleppt, die potenziell zur Erhöhung der Befallsrate von *D. polymorpha* führen. Durch die natürliche Vermehrung der bereits in der Anlage etablierten Muscheln sowie durch den zusätzlichen Eintrag von Dreikantmuschel-Larven über das zugeführte Wasser werden sich die Abundanzen der Muschelpopulation voraussichtlich ebenfalls weiter erhöhen. Das verstärkte Vorkommen an Dreikantmuscheln wird den Ablauf des Parasitenzyklusses begünstigen, da die Wirtsfindung erleichtert wird. Insgesamt ist daher eher eine zunehmende Erhöhung der Zerkarienproduktion zu erwarten, welche bei Nichtergreifung von geeigneten

Gegenmaßnahmen nur durch die natürliche Mortalität der Dreikantmuscheln etwas abgemildert wird. (Esch und Fernandez, 1993) stellten in einem Teich bei Untersuchungen zum Trematodenbefall der Schnecke *Helisoma anceps* Befallsraten von 60 % fest.

Die Infektion der in der Kreislaufanlage des IfB gehaltenen Zander (*Sander lucioperca*) gelang problemlos. In allen Fischen, denen infektiöses Material verfüttert wurde, ließen sich adulte bzw. gravide Saugwürmer nachweisen. Anhand ausgewachsener Exemplare des Trematoden konnte die Zugehörigkeit des Parasiten zur Spezies *B. polymorphus* nochmals eindeutig belegt werden (Abb. 24). Die Ausführungen von (Körting, 1992), nach denen Zander als Endwirte von *B. polymorphus* fungieren, wurden somit bestätigt. Diese Fischart kommt in der Talsperre Quitzdorf vor und wurde auch bei Beprobungen der Zulaufgräben der Fischhälterungsanlage Sproitz beobachtet. Es ist daher davon auszugehen, dass der Zander ein wesentliches Parasitenreservoir darstellt und durch Ausscheidung der Trematodeneier an der Einleitung des Parasitenzyklus beteiligt ist.



Abb. 24: Anteriores Körperende eines adulten *Bucephalus polymorphus* mit typischen muskulären Anhängen

Als 2. Zwischenwirte von *B. polymorphus* fungieren zahlreiche Fischarten. 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 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 Anlage Sproitz zu gewinnen. Im Verlaufe der Infektionsversuche sind leider vermehrt Verluste aufgetreten, die auf eine Reihe

verschiedener Faktoren zurückzuführen waren. Zum einen stellen derartige Experimente und das damit verbundene 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 und 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 2. Infektionsversuches (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 Sproitz recht gut wider. Cypriniden wie z.B. Güster und Plötze scheinen sehr geeignete Zwischenwirte von *B.-polymorphus* zu sein und können starken Metazerkarienbefall aufweisen. Cypriniden präferieren jedoch warme Wassertemperaturen und hatten daher vermutlich geringere Belastungen zu ertragen als z.B. die Salmoniden. Die Frage, weshalb die Infektion der Karpfen zu negativen Befunden führte, kann nicht eindeutig geklärt werden. Eine im Anschluss an die 2. Infektionsexperimente durchgeführte Sektion von Dreikantmuscheln ergab eine große Anzahl leerer Sporozysten sowie eine schlechte Qualität der verbliebenen Zerkarien. Dies legt die Vermutung nahe, dass sich aufgrund der langanhaltend warmen Witterung bereits sämtliche der angelegten Keimballen zu Zerkarien weiterentwickelt und die Wirtsmuscheln bereits verlassen hatten. Die fehlende Neubildung weiterer Zerkarien steht jedoch im Widerspruch zu zahlreichen Beobachtungen von Feld- und Laboruntersuchungen, wonach die Produktion und der Austritt der Parasitenlarven über die gesamte warme Jahreszeit erfolgen und erst mit Abkühlung des Umgebungswassers auf Temperaturen unterhalb 7 °C eingestellt werden (Cornely et al., 1990; Lyholt und Buchmann, 1996; Odening, 1990; Sweeting, 1974). Regenbogenforellen scheinen sehr empfindlich auf Invasionen mit *B.-polymorphus*-Zerkarien zu reagieren. Vor allem in den Kiemen ließen sich zahlreiche Parasiten nachweisen, die das Gewebe zerstörten bzw. die Blutzirkulation beeinträchtigten (Abb. 25) und somit zu einer Störung der Atmung führten.



Abb. 25: Verlegung von Kiemenstrukturen durch eine *Bucephalus-polymorphus*-Metazerkarie.

In Anbetracht des generell hohen Sauerstoffbedarfs von Salmoniden sowie des erhöhten Sauerstoffverbrauches unter Einwirkung von Stressoren (Schreckenbach und Wedekind 2003) sind die verzeichneten Verluste plausibel.

Die im Labor erfolgten Untersuchungen zu den Auswirkungen **mechanischer Kräfte** auf das Überleben und den Gesundheitszustand von *B.-polymorphus*-Zerkarien zeigten, dass durch den Aufprall der Parasiten auf eine ebene Fläche pathogene Effekte erzielt werden können. Bereits beim Dekantieren aus 36 cm Höhe ließen sich bei den untersuchten Parasitenlarven tote und verletzte Individuen nachweisen. Die Ausweitung der Fallhöhe auf 100 bzw. 150 cm verstärkte die traumatische Wirkung und führte nochmals zur Erhöhung des Anteils toter und/oder verletzter Parasiten.

Auch wenn die bei der Fallhöhe von 200 cm erzielten Ergebnisse widersprüchlich sind, so lässt sich bei der Gesamtbetrachtung aller Resultate jedoch der generelle Trend ablesen, dass mit zunehmender Fallhöhe die Anzahl toter und verletzter Zerkarien steigt und die Anzahl unverletzter und nicht auffindbare Individuen, welche ebenfalls als unverletzt gewertet wurden, abnimmt. (Die Zunahme nicht mehr auffindbarer Parasitenlarven mit zunehmender Fallhöhe lässt sich durch das vermehrte Herausspritzen von Wassertropfen und der darin enthaltenen Parasiten nach dem Aufprall der Wasserprobe aus dem Auffanggefäß erklären.) Verletzte Zerkarien waren durch das Fehlen eines oder beider Schwanzanhänge gekennzeichnet. Auch wenn eine erfolgreiche Infektion von Fischen, die durch Wirtswahrnehmung, Anheftung, Penetration, Wanderung zum Targetorgan und Weiterentwicklung zur Metazerkarie gekennzeichnet ist, theoretisch auch ohne

Schwanzanhänge möglich ist, ist doch die Beweglichkeit geschädigter Parasiten stark eingeschränkt und ein verminderter Infektionserfolg zu erwarten.

Der mechanischen Bekämpfung von Zerkarien ist im internationalen Schrifttum bisher kaum Aufmerksamkeit geschenkt worden. Bei *Diplostomum*-sp.-Zerkarien ist jedoch unter Laborbedingungen eine erhöhte Mortalität durch mechanische Einwirkungen (Handling) beobachtet worden (Pietroock, unveröffentlicht). Es ist aber bekannt, dass Zerkarien auf mechanische Reize mit vermehrten Schwimmbewegungen reagieren (Haas, 1974a). Dies bewirkt ein vorzeitiges Aufbrauchen ihrer Glykogenreserven und somit eine Verringerung der Lebensdauer und Verkürzung der Infektionsperiode (Graczyk und Fried, 2001).

Die Anwendung von **Ultraschall** gegen *B.-polymorphus*-Zerkarien führte unter Laborbedingungen zu erhöhten Mortalitäten. In allen Versuchen wurde die Anzahl lebender Parasiten durch die Behandlung drastisch reduziert. Die nach der Exposition nicht mehr auffindbaren Zerkarien waren durch die Schalleinwirkung nahezu vollständig zersetzt worden, so dass in den Testgefäßen nur noch Gewebstrümmer nachweisbar waren.

Im Versuch Nr. 3 wurden die besten Ergebnisse hinsichtlich der Anzahl getöteter Parasitenlarven erzielt. Auf den weiteren Plätzen folgten die Versuche 4 und 7. Es ist bei dieser Rangfolge allerdings zu bemerken, dass diese guten Resultate durch einen hohen Energieeintrag erkauft wurden. Die Versuche 1 und 8 brachten mit Mortalitäten von etwa 85 % noch akzeptable Ergebnisse hervor (Abb. 19).

Setzt man zur Einschätzung der Effektivität der Behandlungen den spezifischen Energieeintrag in Beziehung zum Quotienten aus der Anzahl der verwendeten Zerkarien ( $n = 60$ ) und der Zahl der jeweils getöteten und vollständig zersetzten Parasiten am Versuchsende, dann weist der Versuch 8, gefolgt von Nr. 2 und 5 das effektivste Ergebnis auf. Allerdings liegen die zugehörigen Mortalitätsraten bei 86,6, 75,0 und 71,6 %. Dieselbe Rangfolge wird erhalten, wenn der spezifische Energieeintrag in Beziehung zum Quotienten aus der Anzahl der verwendeten Zerkarien ( $n = 60$ ) und der Zahl der jeweils getöteten, nicht auffindbaren und moribunden Parasiten setzt. Die zugehörigen prozentualen Anteile der beeinträchtigten (Summe aus toten, vollständig zersetzten und moribunden Individuen) Parasiten zum jeweiligen Stichprobenumfang ( $n = 60$ ) sind 91,6, 95,0 und 78,3 %.

Zum Einsatz von Ultraschall in der Aquakultur mit dem Ziel der Erregerprophylaxe ist nur wenig bekannt. Nach (Kamenskij, 1970) wurden Eier, Mirazidien und Zerkarien der Trematoden *Diplostomum spathaceum* und *Tylodelphys clavata* erfolgreich mit Ultraschall bekämpft, wobei Leistungen von 20 - 50 W / cm<sup>2</sup> über einen Anwendungszeitraum von 3 s zum Einsatz kamen. Die eingebrachte Energie liegt damit etwa zwei Zehnerpotenzen über den entsprechenden Werten der vorliegenden Versuche zur Bekämpfung von *B.-polymorphus*-Zerkarien (Abb. 19).

Die Verwendung von **UV-C-Strahlung** gegen Zerkarien von *B. polymorphus* zeigte unter Laborbedingungen variierende Ergebnisse. In der Tendenz war jedoch festzustellen, dass der Einsatz von UV-Licht innerhalb von 45 Minuten zu einer Aktivitätsänderung der Parasiten führte. Die Einwirkung der UV-Strahlen über einen Zeitraum von 20 s (= UV-C-Dosis von

1800 J/m<sup>2</sup>) verursachte eine Reduktion der Anzahl vollständiger Kontraktionen je Minute. Allerdings ließ sich diese Aktivitätsminderung bei einer Bestrahlungsdauer von 30 s (bzw. UV-C-Dosis von 2850 J/m<sup>2</sup>) nicht mehr nachweisen. Die Ursache dieser scheinbar einander widersprechenden Ergebnisse lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht klären. Es ist denkbar, dass die Parasiten auf unterschiedliche Intensitäten eines Reizes in verschiedener Weise antworten. So beobachtete (Haas, 1974b), dass Zerkarien von *Diplostomum spathaceum* auf verschiedene Konzentrationen gelöster chemischer Stoffe mit jeweils unterschiedlichen Fixationsraten (Fixation = Festheften der Parasiten an einem Substrat nach Schwimmkontakt) reagierten. Zum anderen ist zu berücksichtigen, dass die Schädigung der UV-Strahlung im Gegensatz zu mechanischen Maßnahmen nicht auf der unmittelbaren Wirkung von Scher- und Reißkräften auf den Testorganismus beruht, sondern auf die Behinderung der Zellteilung durch Unterbindung des korrekten Auslesens der Erbinformation zurückzuführen ist. Dementsprechend ist eine Schädigung ungleich schwerer nachzuweisen, da sie selten direkt nach der Exposition offensichtlich wird. Es ist darüber hinaus auch nicht auszuschließen, dass die aufgewandten Bestrahlungsintensitäten von 950 – 2850 J/m<sup>2</sup> zu gering waren, um innerhalb des Beobachtungszeitraumes signifikante Reaktionen auszulösen. Der Einsatz ultravioletten Lichts ist in 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 UV-Intensitäten zwischen 10 (*Aeromonas punctata*) und 4500 J/m<sup>2</sup> (*D. spathaceum*) verwendet. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass eine reduzierte Infektiösität metazoischer Parasitenlarven schon bei Behandlung mit deutlich geringeren UV-Lichtintensitäten von ca. 400 J/m<sup>2</sup> eintritt (Fuchs, Universität Bielefeld, mdl. Mitt.).

Die in der Fischhälterungsanlage Sproitz durchgeführten **Feldexperimente** zur Wirkung von Ultraschall gegen *B.-polymorphus*-Zerkarien offenbarten, dass die verwendete Methode prinzipiell auch unter Feldbedingungen wirksam ist. Leider konnte jedoch der vorgesehene vierwöchige Versuchszeitraum nicht eingehalten werden, da dieser Versuch aufgrund wiederholter technischer Probleme (Ausfall des Ultraschallgenerators) nach 20 Tagen abgebrochen werden musste. (Die im Anschluss an das Experiment durchgeführte Fehleranalyse durch die Fa. Dr. Hielscher GmbH ergab leider keine Hinweise auf die Ursache der eingetretenen Ausfälle). Die Karpfen, welche mit ultraschallbehandeltem Wasser versorgt worden waren, wiesen einen geringeren Parasitenbefall als die Fische der Kontrollgruppen auf. Allerdings ist der „unbereinigte“ Vergleich unzulässig, da die Versuchsfische nur 4/7 des Expositionszeitraumes der Kontrollen exponiert worden waren. Unter der Annahme eines über den Versuchszeitraum konstant erfolgten Parasitenbefalls, ergäbe eine auf 20 Tage reduzierte Infektionsperiode bei den Karpfen der Kontrollgruppe eine (theoretische) mittlere Befallsintensität von ca. 0,26 Metazerkarien / g Muskulatur bzw. 0,06 Metazerkarien / g Kiemengewebe. Die jeweils entsprechenden Werte für die Regenbogenforellen lägen bei 1,41 und 13,54 Parasiten je g Muskel bzw. Kiemengewebe. Werden die Werte der Kontrollgruppe als 100 % betrachtet, so wurden bei den Karpfen die mittleren Befallsintensitäten durch den Einsatz des Ultraschallgenerators um 93 % (Muskel)

bzw. 40 % (Kiemengewebe) reduziert. Die Entwicklung der Prävalenzen lässt sich bei der Reduktion auf den Infektionszeitraum von 20 Tagen nicht einschätzen, da davon auszugehen ist, dass die Fische nicht in Reihenfolge, sondern zeitlich synchron infiziert werden. Auf sämtliche statistischen Vergleiche zwischen den Regenbogenforellen der Kontroll- und der Versuchsgruppe wurde verzichtet, da aufgrund der schlechten Umweltbedingungen (hohe Wassertemperaturen, geringe Sauerstoffgehalte) nur 11 % der Versuchstiere überlebt hatten und somit keinen wissenschaftlich begründeten Vergleich dieser Ergebnisse erlauben. Die sowohl in den Regenbogenforellen als auch in den Karpfen nachgewiesenen Metazerkarien sind vermutlich 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.

Die Untersuchungen zur Wirkung von UV-C-Strahlen auf *B.-polymorphus*-Zerkarien unter den Bedingungen der Fischhälterungsanlage Sproitz zeigten differierende Ergebnisse. Die Behandlung des Wassers führte bei den Regenbogenforellen tendenziell zu einer Verringerung der mittleren Befallsintensität in den Kiemen. Diese Ergebnisse sind allerdings nur bedingt aussagekräftig, da zahlreiche Fische (83 %) aufgrund der schlechten Wasserverhältnisse vorzeitig verendeten. Die um etwa 20 % verminderte Befallsrate und um mehr als 50 % reduzierte mittlere Befallsintensität in der Muskulatur der mit behandeltem Zulaufwasser versorgten Karpfen ließ sich leider statistisch nicht absichern. Obgleich das vom Hersteller des verwendeten UV-Gerätes (Fa. UBBINK, Deutschland) propagierte Behandlungsvolumen von bis zu 17500 L / h deutlich höher als die im durchgeführten Versuch bestrahlte Wassermenge (3600 L / h) ist, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die UV-Dosis von ca. 58 J/m<sup>2</sup> zu gering war, um die mitgeführten Zerkarien signifikant zu schädigen. Die Belastung des Zulaufwassers mit planktischen Algen, Schwebstoffen und sedimentierfähigem Material war voraussichtlich zu groß, so dass das UV-Licht nicht tief genug eindringen und die keimtötende Wirkung nicht in vollem Maße entfalten konnte.

## **6 KONZEPT FÜR DEN BETRIEB EINER GROßTECHNISCHEN ANLAGE ZUR BEKÄMPFUNG VON PARASITEN UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER NACHHALTIGKEIT, ÖKOLOGISCHEN VERTRÄGLICHKEIT UND ÖKONOMISCHEN WIRTSCHAFTLICHKEIT DER KREBA FISCH GMBH**

Die Entstehung der Zerkarienproblematik in der Fischhälterungsanlage Sproitz steht in engem Zusammenhang mit der Entwicklung der Wasserqualität der Talsperre Quitzdorf, welche zur Versorgung der Fischteiche und -hälterungseinheiten genutzt wird. In den vergangenen Jahren war nach Aussagen der Kreba Fisch GmbH eine zunehmende Erhöhung

des Trophiegrades der Talsperre festzustellen. Dies begünstigte die Entwicklung und Ausbreitung filtrierender Organismen, wie z.B. der Dreikantmuschel *Dreissena polymorpha*, welche als Folge der Trophieerhöhung starke Populationsdichten ausbildete und gegenwärtig in sehr hohen Abundanzen auch in den Zuläufen, Teichen und Hälterungseinrichtungen der Fischzuchtanlage anzutreffen ist. Die Dreikantmuschel fungiert u.a. als Zwischenwirt des Trematoden *Bucephalus polymorphus*, welcher zu den beschriebenen Schädigungen und Verlusten an Fischen führt. Um die bestehende Umweltproblematik zu entschärfen sowie die Muschelpopulationen und das Wirt-Parasit-Verhältnis wieder auf ein 'normales' Maß zurück zu drängen, wäre es sinnvoll, den Nährstoffeintrag in die Talsperre Quitzdorf zu reduzieren und den Austrag von Nährstoffen aus der Talsperre (durch z.B. eine verstärkte Entnahme von Friedfischen) zu forcieren. Diese Maßnahmen sind jedoch von überregionaler Bedeutung und sind daher nur in Übereinstimmung mit den entsprechenden Entscheidungsträgern durchführbar. Die zu erwartenden Erfolge stellen sich vermutlich erst nach längerer Zeit ein, wirken aber nachhaltig.

Unter Berücksichtigung der im Werkvertrag festgelegten Maßgabe zur Entwicklung eines Konzepts zur Lösung der Zerkarienproblematik in der Fischhälterungsanlage Sproitz unter Verwendung einer technischen Anlage sollen nachfolgend die getesteten Verfahren hinsichtlich ihrer Effektivität, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit dargestellt werden. Darüber hinaus werden weitere technische Lösungsverfahren, welche jedoch im Rahmen dieses Projektes nicht explizit untersucht wurden, vorgestellt und diskutiert.

Bei der Bekämpfung von *B. polymorphus* ist die gegenwärtige epidemiologische Situation zu berücksichtigen, welche einerseits durch eine während der warmen Jahreszeit bestehende permanente Zufuhr infektiöser Stadien (Eier, Mirazidien) als auch durch eine sehr große Anzahl bereits infizierter Zwischenwirte in der Fischhälterungsanlage gekennzeichnet ist. Des weiteren ist zu beachten, dass befallene *D. polymorpha* voraussichtlich problemlos überwintern und im Folgejahr infektiöse Zerkarien produzieren können (Wolber, pers. Mitt.). Ein lebenslang anhaltender Sporozystenbefall wurde auch für andere Wirt-Parasit-Systeme mitteleuropäischer Gewässer vermutet (Odening and Bockhardt, 1971; Odening et al., 1970). Generelles Ziel aller technischen Lösungen ist somit die Unterbrechung des Parasitenzykluses. Die Bekämpfungsmaßnahmen müssen daher gegen die verschiedenen Parasitenstadien und / oder die am Lebenszyklus des Parasiten beteiligten Wirte (Abb. xx) gerichtet sein. Bereits an dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass bei der Installation einer großtechnischen Anlage der Betrieb am Standort Sproitz u.U. für einen bestimmten Zeitraum unterbrochen werden muss bzw. nur einschränkt weitergeführt werden kann, bis die betreffende Bekämpfungseinheit im Wasserversorgungssystem integriert ist.

## **6.1 Gegenüberstellung einzelner Verfahren hinsichtlich Nachhaltigkeit, ökologischen Verträglichkeit und ökonomischen Wirtschaftlichkeit**

### **6.1.1 Wassersturz**

Die mechanische Behandlung des Zulaufwassers zur Bekämpfung einer Parasitose geht von der Annahme aus, dass Erreger durch die einwirkenden Kräfte getötet oder aber soweit geschädigt werden, dass sie die Wirte nicht mehr infizieren können. Die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Untersuchungen belegen, dass durch ein Dekantieren (bzw. Ausschütten) einer Zerkariensuspension und den Aufprall des zerkarienhaltigen Wassers auf eine ebene Fläche eine Minderung der Anzahl lebender Erreger erreicht werden kann. Darüber hinaus sind bereits nach einem Aufprall der Parasitenlarven aus einer Höhe von 36 cm auch verletzte Individuen nachgewiesen worden, bei denen ein bzw. beide Schwanzanhänge abgetrennt worden waren. Es ist davon auszugehen, dass das Fehlen der Schwanzanhänge eine Funktionseinschränkung darstellt und eine verminderte Infektiosität der Zerkarien bewirkt. Die Ausweitung der Fallhöhe auf einen Meter erbrachte nochmals eine Effektivitätssteigerung, d.h. führte zur Erhöhung des prozentualen Anteils getöteter und verletzter Individuen.

Bei der Beurteilung der verwendeten Methode ist zu bedenken, dass diese auf die Bekämpfung von Zerkarien beschränkt ist. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass auch kleinere oder kompaktere Parasitenstadien (wie z.B. Mirazidien oder Trematodeneier) bzw. weitere Erregerarten (Protozoen) funktionell beeinträchtigt werden. Eine Ausweitung der Infektion von Dreikantmuscheln und die damit verbundene Produktion von Zerkarien in den Teichen und Zuläufen kann durch die Errichtung von Prallwänden oder –ebenen daher mit diesem Verfahren nicht verhindert werden. Aus diesem Sachverhalt ergibt sich, dass die mögliche Installation von Prallwänden räumlich erst hinter dem Ort der Zerkarienproduktion liegen kann. Dies wären im speziellen Fall des Standortes Spritz die jeweiligen Fischhältereinrichtungen, da sich zahlreiche infizierte Dreikantmuscheln in den Zuleitungsrohren aufhalten. Da jedes Betonrundbecken durch 3 Zuläufe gespeist wird, wären pro Halterungseinheit ebenfalls 3 Prallwände anzubringen. Dennoch sind die Investitionskosten und Aufwendungen für die Installation im Vergleich zu anderen Verfahren (s.u.) relativ gering. Die Prallwände können entweder aus Beton gefertigt oder aus Metall geformt sein und wären unterhalb der jeweiligen Zuläufe auf einem Sockel anzubringen. Die Unterhaltungskosten im Betrieb sind ebenfalls gering, da nur beschädigte Teile ausgetauscht oder instand gesetzt zu werden bräuchten. Nach ihrer Installation funktionieren die Prallwände ohne weiteren Energieaufwand im Dauerbetrieb. Dies hat den Vorteil, dass mit dem Einsetzen der Zerkarienproduktion im Frühjahr eine unmittelbare Bekämpfung der Erreger erfolgt, ohne dass weitere Probennahmen auf Parasitenbefall o.ä. erforderlich wären. Ein weiterer Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Erhöhung der Wasserqualität durch einen zusätzlichen Eintrag atmosphärischen Sauerstoffs in das Produktionswasser.

Die Verwendung von Prallwänden zur Bekämpfung von Zerkarien ist ein sehr umweltverträgliches Verfahren. Während des Betriebes treten keine Lärmbelästigungen oder sonstige Verunreinigungen auf. Die chemische Zusammensetzung des Wassers ändert sich nur dahingehend, dass eine Erhöhung des Sauerstoffwertes erfolgt. Chemikalien werden bei diesem Verfahren grundsätzlich nicht angewendet. Darüber hinaus ist nach der Installation keine weitere Energie notwendig, um eine Bekämpfung der Parasiten zu unterhalten.

Den erwähnten positiven Merkmalen dieses Verfahrens zur Parasitenbekämpfung steht eine relativ geringe Effektivität gegenüber. Bei Betrachtung der unter Laborbedingungen erzielten Werte wird deutlich, dass bei den verschiedenen Fallhöhen insgesamt nur etwa 32-55 % der behandelten Parasiten getötet oder verletzt werden. Des Weiteren muss erwähnt werden, dass die installierten Prallwände zu den Einlaufrohren einen Abstand von  $\geq 36$  cm aufweisen müssen, was in einigen der Betonrundbecken eine Verminderung des fischereilich nutzbaren Produktionsvolumens nach sich zieht.

### **6.1.2 Ultraschall**

Bei der Ultraschallbehandlung von Wasser zur Bekämpfung von Erregern werden durch einen Generator elektrische Schwingungen erzeugt, welche mittels eines Schallwandlers in mechanische Schwingungen umgewandelt und auf eine Sonotrode übertragen werden. Der industrielle Einsatz von Ultraschallprozessoren erfolgt u.a. zum Homogenisieren, Dispergieren, Extrahieren, Entgasen sowie bei der Wasser- und Abwasserbehandlung. Bei der Behandlung von Abwässern ist es das Ziel, Zellen durch Ultraschall aufzuschließen und so dem bakteriellen Abbau zugänglich zu machen. Beim Einsatz von Ultraschallsystemen in der Trinkwasserbereitung werden Planktonorganismen inaktiviert und nachfolgend durch einen Filter entfernt.

Unter Laborbedingungen wurden bei den verschiedenen Experimenten zur Bekämpfung von Zerkarien mittels Ultraschall sehr gute Ergebnisse erzielt. In Abhängigkeit von der eingetragenen Energie wurden in den jeweiligen Versuchen Mortalitäten von 60 – 100 % erreicht. Bei der Durchführung der Feldexperimente in der Fischhälterungsanlage Sproitz zeigte sich, dass dieses Verfahren der Zerkarienbekämpfung im Prinzip funktionstüchtig ist. Der Ausfall des Generators war bedauerlich, aber nicht vorhersehbar. Die ermittelten Resultate waren jedoch mit einem sehr hohen Energieeintrag verbunden. Werden die in den Laborversuchen verwendeten eingetragenen Energiemengen für die Behandlung des gesamten Zulaufwassers der Anlage Sproitz (ca. 500 L / s) kalkuliert, so erhält man für den Leistungsbedarf Werte von 914,7 - 3170,8 kW (Tab. 5). Der auf dem Feldversuch basierende theoretische Leistungsbedarf beträgt 1173,6 kW.

Tax. 5: Theoretischer Leistungsbedarf eines Ultraschallgenerators zur Behandlung des Zulaufwassers der Fischhälterungsanlage Sproitz, basierend auf Ergebnissen von Laborversuchen.

Versuch Nr.	Spezifischer Energieeintrag $W_{\text{spez.}}$ (kWh/L)	Leistungsbedarf (kW)*
1	0,000985	1773,0
2	0,000649	1168,2
3	0,00176	3170,8
4	0,00108	1946,8
5	0,00064	1160,6
6	0,00056	1008
7	0,00107	1935,7
8	0,000508	914,7

\* kalkuliert für eine Zulaufwassermenge von 500 L / s

Zur Behandlung einer Wassermenge von 500 L / s wäre nach Angaben des Herstellers bei einem Leistungsbedarf von 1000 kW „eine große Anzahl von Sonotroden“ zu installieren. Die Anschaffungskosten für eine Sonotrode belaufen sich auf ca. 2000 €; die Lebensdauer einer Sonotrode beträgt im Dauerbetrieb ca. 2 Jahre. Da die Parasiten jedoch nur während der warmen Jahreszeit vorkommen, wäre ein ununterbrochener Betrieb des Ultraschallsystems nicht notwendig, so dass sich die Lebensdauer um 1-2 weitere Jahre verlängert. Das Auswechseln der verschiedenen Sonotroden nach Ablauf der Betriebsdauer könnte bei laufendem, aber eingeschränktem Betrieb erfolgen. Dieser Arbeitsschritt benötigt etwa 4 Stunden. Während der Anwendung treten nur geringe Kosten für die Wartung auf; die permanente Betriebskontrolle könnte von einem elektrischen Signalgeber übernommen werden. Durch die hohe Leistungsaufnahme des Generators wären allerdings die Kosten für elektrischen Strom immens. Nach Aussagen der ESAG Energieversorgung Sachsen Ost AG sind für eine kWh Gewerbestrom etwa 16,87 Cent zu entrichten (Preise Oktober 2003). Dies ergäbe für die durchgängige Nutzung einer 1000-kW-Ultraschallanlage für einen Zeitraum von 24 Stunden Stromkosten in Höhe von 4048,80 €. Aus dieser Beispielrechnung sowie den Angaben der Tab. 5 ist ersichtlich, dass die Ultraschallbehandlung der gesamten Zulaufwassermenge der Anlage Sproitz sehr kostenaufwändig wäre. Allerdings kann im allgemeinen durch die Optimierung des Prozesses der Energiebedarf noch gesenkt werden (Fa. Dr. Hielscher GmbH, mündl. Mitt.). Bei den hier dargestellten Überlegungen muss darüber hinaus aber bedacht werden, dass durch Ultraschallbehandlung i.d.R. nur größere Organismen (u.a. Zerkarien) zerstört werden. *Bucephalus-polymorphus*-Mirazidien und Trematodeneier, die nur einen Bruchteil der Körpergröße der Zerkarien erreichen, werden durch die Kräfte beim Implodieren der durch Ultraschall erzeugten Kavitationsblasen funktionell vermutlich kaum beeinträchtigt. Dies hätte zur Folge, dass weiterhin Infektionen

der in der Anlage befindlichen (und sich dort auch vermehrenden) Dreikantmuscheln stattfinden und die gehälterten Fische weiterhin von Zerkarien befallen werden könnten. Eine Behandlung des gesamten Zulaufwassers erscheint daher wenig sinnvoll.

Im laufenden Betrieb der Ultraschallanlage entstehen keinerlei umweltrelevante Abprodukte. Durch die Sonotrode wird jedoch ein hörbarer Geräuschpegel erzeugt, der vom Personal u.U. als unangenehm empfunden werden könnte. Es wäre daher bei der Installation einer Ultraschallanlage in Betracht zu ziehen, die Arbeitseinheiten (Sonotroden) in ein separates Gebäude zu verlagern bzw. mit einer kompakten Dämmung zu versehen. Ein weiteres, wichtiges Kriterium bei der Bewertung eines Ultraschallsystems hinsichtlich der Umweltverträglichkeit ist der bereits dargestellte hohe Energiebedarf zur erfolgreichen Bekämpfung der Zerkarien. Der notwendige hohe Energieaufwand zur Beschallung großer Wassermengen steht der Idee eines sparsamen Umgangs mit den natürlichen Ressourcen entgegen.

### **6.1.3 Ultraviolette Bestrahlung**

Ultraviolette (UV) Bestrahlung ist ein weitverbreitetes Verfahren zur Bekämpfung von pathogenen Keimen (Sommer et al. 1989, Zemke et al. 1990, Karanis et al. 1991, Huffman et al. 2002) und kommt u.a. sowohl in der Trinkwasserbereitung als auch in der Abwasserbehandlung zum Einsatz. In der Aquaristik und Aquakultur werden UV-Strahlen erfolgreich gegen Bakterien, Viren und Pilze verwendet (Bohl 1999, ter Höfte und Arend 1997). Die positive Wirkung von UV-C-Strahlen hinsichtlich der Erregerbekämpfung beruht auf der Zerstörung von DNA-Abschnitten im Zellkern der betreffenden Zielorganismen. Um ihre schädigende Wirkung zu entfalten, müssen UV-C-Strahlen jedoch mit einer speziesabhängigen Stärke bzw. Dauer auf die Zielorganismen einwirken können. Die zu verwendende Dosis steht daher mit der Eindringtiefe der Strahlen in das zu behandelnde Wasser sowie der Bestrahlungsdauer in einem engen Zusammenhang. Im Medium befindliche Partikel, wie z.B. Algen oder anorganisches sedimentierfähiges Material können einen nicht unerheblichen Teil der Strahlung absorbieren. Die Effektivität einer Ultraviolettbehandlung wird somit in starkem Maße von der Wasserqualität bestimmt. Unter industriemäßigen Bedingungen ist eine UV-Anlage daher meist in Verbindung mit anderen technischen Einrichtungen (Kiesbett-, Trommelfilter, Ozonierungsanlage) zur Vorbehandlung des Wassers anzutreffen (Liltved und Cripps, 1999, Summerfelt, 2003). Die Ergebnisse der Labor- und Felduntersuchungen deuten an, dass UV-C-Strahlen ebenfalls negative Effekte auf *Bucephalus-polymorphus*-Zerkarien haben. Gleichartige Beobachtungen wurden bei der Exposition anderer Zerkarienarten erzielt (Prah und James, 1977).

Eine mögliche Installation einer UV-Anlage zur Behandlung des gesamten Zulaufwassers der Fischhälterungsanlage Sproitz würde sich gegen mitgeführte Dreikantmuschellarven, Trematodeneier, Mirazidien, Zerkarien und andere fischpathogene Erreger richten. In Bezug auf *Bucephalus-polymorphus*-Infektionen könnte der weiteren exponentiellen Ausbreitung der als Zwischenwirt fungierenden Dreikantmuschel in den Zuläufen, Teichen und

Fischhältereinrichtungen zumindest teilweise entgegengewirkt werden. Die Infektion nicht infizierter Muscheln wäre durch die UV-Bestrahlung des Zulaufwassers erheblich erschwert oder gar ganz verhindert. Allerdings ist auch bei dieser Methodik darauf hinzuweisen, dass zur Erreichung dieses Ziels bei einem zu behandelnden Wasservolumen von 500 L / s enorme Energiemengen vonnöten sind. Der gegenwärtige Stand der Technik erlaubt es jedoch durchaus, derartige Volumina zu behandeln. Die Wirksamkeit einer UV-Anlage hängt jedoch, wie dargelegt, in starkem Maße von der Wasserqualität ab. In Anbetracht der hohen Belastung des Zulaufwassers der Halterungsanlage Sproitz mit planktischem und sedimentierfähigem Material ergibt sich zur effektiven Erregerbekämpfung die Notwendigkeit zur Installation mehrerer UV-Behandlungseinheiten (z.B. LWX-1000 EW), um trotz hoher Wassertrübung die notwendigen Strahlendosen zu erzeugen. Die Anschaffungskosten für eine einzelne entsprechende UV-Einheit betragen ca. 50 T€ (Typ „LWX-1000 EW“ Fa. WEDECO, Deutschland). Unter Berücksichtigung der eigenen Ergebnisse, der Resultate aus der Literatur und den Angaben des Herstellers wären zur Erzeugung der notwendigen Strahlendosen etwa 3 derartige UV-Geräte anzuschaffen. Aufgrund eines integrierten Selbstreinigungsmechanismus für die UV-Röhren ist der Wartungsaufwand während des Betriebes gering. Die Lebensdauer der 30 eingebauten UV-Röhren / Gerät beträgt im Dauerbetrieb etwa ein Jahr. Nach diesem Zeitraum wären die Röhren durch neue zu ersetzen. Beim Auswechseln einer UV-Röhre muss die Wasserzufuhr für mehrere Stunden gesperrt werden. Der Preis für eine einzelne UV-Röhre beträgt gegenwärtig ca. 490,- €. Die Anschlussleistung einer einzelnen UV-Einheit (LWX 1000 EW) ist mit 14,5 kW angegeben. Dementsprechend sind im Betrieb der Anlage bei Zugrundelegung eines Strompreises von 16,87 Cent / kWh (ESAG Energieversorgung Sachsen Ost AG, mdl. Mitt.) Stromkosten in Höhe von 58,70 €/Tag und Gerät anzusetzen. Durch die UV-Behandlung des Zulaufwassers werden keine schädigenden Abprodukte in die Umwelt (Wasser, Boden, Luft) entlassen. Die chemische-physikalische Zusammensetzung des Wassers ändert sich durch den Einsatz des dargestellten Verfahrens nur unwesentlich und lässt keine negativen Auswirkungen auf die nachgelagerte Flora oder Fauna befürchten. Der laufende Betrieb einer UV-Anlage ist mit keiner Lärmbelästigung verbunden. Da die Länge einer UV-Bestrahlungseinheit ca. 1,85 m beträgt, ist der zu veranschlagende zusätzliche Raumbedarf relativ gering. Der Energiebedarf von 14,5 kW je Einheit ist zwar niedriger als der einer Ultraschalleinheit aber dennoch keine ökonomisch und ökologisch vernachlässigbare Größe.

#### **6.1.4 Einsatz von Ozon**

Mit Hilfe des Ozonierungsverfahrens wäre es ebenfalls möglich, Zerkarien und weitere Fischparasiten aus dem Zulaufwasser der Fischhälterungsanlage Sproitz zu entfernen. Neben der Aquaristik finden Ozonierungsanlagen weltweit auch in der Aquakultur Verwendung, wobei der Einsatz jedoch insbesondere auf Kreislaufanlagen orientiert. Die Ozonierungsanlagen dienen zur Desinfektion (Bekämpfung von Viren und Bakterien) und

Verbesserung der allgemeinen Wassergüte (Oxydation von Nitrit, Verminderung der Gelbfärbung des Wassers). Angaben zur pathogenen Wirkung von Ozon gegen metazoische Parasiten sind nicht bekannt. Nach Aussagen der Fa. SANDER (Deutschland) ist Ozon in sehr hohen Konzentrationen auch gegen metazoische Organismen schädigend, diese Konzentrationen sind für die gewöhnlich in einer Fischzuchtanlage eingesetzte Wassermengen aber nicht mehr kostendeckend (Sander, mdl. Mitt.) Die spezifische Wirkung des Ozons beruht auf der sehr starken Reaktionsfähigkeit des dreiatomigen Sauerstoffs. Ozonierungsanlagen bestehen im Wesentlichen aus einem Ozongenerator, aus einem Übertragungssystem und aus einer Destrukturierungseinheit. Der materiell-technische Aufwand ist somit nicht unbedeutend. Zur Produktion des Ozons kann technischer Sauerstoff als auch Luft verwendet werden. Da die Ozonausbeute bei Verwendung von technischem Sauerstoff höher ist, wird dieses Verfahren allgemein als das effektivere betrachtet (Masschelein 1998). In dem Reaktorbehälter wird das erzeugte Ozon in Lösung gebracht. Die erforderlichen Reaktionszeiten werden von der vorhandenen und gewünschten Wasserqualität beeinflusst und betragen i.d.R. mehrere Sekunden bis Minuten. Bevor das behandelte Wasser den Produktionseinrichtungen zugeführt wird, muss das noch in Lösung befindliche Ozon abgebaut werden, damit bei den Fischen keine gesundheitlichen Probleme hervorgerufen werden (Wedemeyer et al. 1979). Der Abbau des Ozons erfolgt durch Zugabe von Reduktionsmitteln, UV-Lampen, Aktivkohlefilter oder durch Ausstrippen.

Die Installation einer Ozonierungsanlage im Zuleitungssystem (Teiche und Hälteranlage) würde sich effektiv gegen freilebende Trematodenstadien (Eier, Mirazidien, Zerkarien), Dreikantmuscheln und andere pathogene Keime des Zulaufwassers richten. Die in der Anlage befindlichen, bereits infizierten Muscheln würden weiterhin Zerkarien ausstoßen und zu Fischverlusten führen, so dass eine deutliche Verbesserung der epidemiologischen Situation erst nach 3-5 (10) (Neumann und Jenner, 1992) Jahren eintreten würde, sobald die infizierten Individuen natürlicherweise verendet wären. Zur Behandlung einer Wassermenge von 500 L / s ist eine Ozonierungsanlage mit einer Kapazität von etwa 540 g Ozon / h notwendig (entspricht 0,3 g O<sub>3</sub> / m<sup>3</sup>). Der Beschaffungspreis für einen entsprechenden Ozongenerator beträgt ca. 30 T€. Die Leistungsaufnahme dieses Gerätes wäre etwa 5-6 kW. Für den Betrieb von Pumpen und evtl. des Reaktionsbehälters wären etwa ebenso große Energiemengen aufzubringen. Das in das Wasser eingetragene Ozon benötigt eine bestimmte Kontaktzeit um mit den vorhandenen Stoffen zu reagieren. Dieser Vorgang vollzieht sich i.d.R. in einem Reaktionsbehälter; er kann aber auch in Zuleitungsrohren erfolgen. Die Kontaktzeit ist auf etwa 5 Minuten zu veranschlagen. Da das Ozon jedoch sehr reaktionsfreudig und somit aggressiv ist, darf der Reaktionsbehälter nicht aus Eisen gefertigt sein. Typischerweise bestehen diese Bauteile aus Edelstahl; GFK-Behälter sollen ebenfalls geeignet sein (Meylahn, Fa. Fischtechnik, Fredelsloh, pers. Mitt.). Bei Verwendung einer Ozonierungsanlage am Zulauf des Standortes Sproitz wäre ohne Reaktionsbehälter daher das Zuleitungssystem bis zum Einlauf der Teiche bzw. zum Verteilerschacht der Hälteranlage durch z.B. Edelstahlrohre zu ersetzen. Um eine Kontaktzeit von ca. 5 min. zu gewährleisten, müssten in die Rohre statische Mischer eingesetzt werden. Alternativ wäre ein Reaktionsbehälter mit einem Fassungsvermögen von etwa 150 m<sup>3</sup> zu installieren. Bevor das behandelte Wasser den

Fischen zugeleitet würde, müsste das Restozon in einem Adsorptionsbehälter abgebaut werden. Anderenfalls wären negative Effekte des Ozons auf die gehälterten Fische nicht auszuschließen. Die veranschlagten Installationskosten (ohne Ersatz der vorhandenen Rohrleitung durch z. B. Edelstahlmaterialien) betragen ca. 100 T€ (Schätzungen der WEDECO-KATADYN GmbH, Deutschland).

Das Ozonierungsverfahren ist umweltfreundlich, da keine toxischen Chemikalien zum Einsatz kommen und das schädigende Ozon am Ende des Prozesses abgebaut wird. Dennoch ist der Umgang mit Ozon im Hinblick auf gesundheitliche Risiken nicht unproblematisch. Insbesondere in geschlossenen Räumen sind daher entsprechende Vorsichtsmaßnahmen und Vorschriften zu beachten, maximale Arbeitsplatzkonzentrationen (MAK's) dürfen nicht ignoriert werden. (Nach Angaben des Kommunalen Luftinformationsdienstes Nürnberg ist entsprechend der Richtlinie 2002/3/EG der Zielwert von 120 µg Ozon / m<sup>3</sup> Luft nicht zu überschreiten.) Der elektrische Energieverbrauch ist im Vergleich zu den anderen dargestellten Methoden der Wasserbehandlung (Ultraschall, UV-Bestrahlung) relativ gering. Eine mögliche Lärmbelästigung kann durch entsprechende Dämmung minimiert werden.

### **6.1.5 Filter**

Mit Hilfe eines Filtersystems bestände die Möglichkeit, freilebende Entwicklungsstadien von Trematoden (Eier, Mirazidien, Zerkarien) sowie auch Dreikantmuscheln unterschiedlichen Alters aus dem Zulaufwasser der Fischhälterungsanlage Sproitz zu entfernen. Aufgrund der sehr geringen Körpergröße der Erreger von  $\leq 20 \mu\text{m}$  (Trematodeneier) wären jedoch sehr feine Filter einzusetzen, um die entsprechenden Stadien zu eliminieren. Eine Lösung dieser Problematik könnte durch Ultrafiltrationsanlagen oder mittels Trommelfilter erfolgen. Bei der Installation einer dieser Einrichtungen im Zuleiter der Fischhälterungsanlage Sproitz wäre aber wiederum zu beachten, dass die bereits befallenen Dreikantmuscheln, welche sich innerhalb der Anlage aufhalten, für einen Zeitraum von mehreren Jahren weiterhin Zerkarien produzieren und folglich Fischverluste auftreten können.

Die Kosten für die Anschaffung einer Ultrafiltrationsanlage zur Behandlung des Zulaufwassers der Hälterungsanlage Sproitz sind sehr hoch und betragen ca. 2500 T€, inklusive Fundamenten, Gebäudearbeiten und Anschluss an das vorhandene Wassernetz (ZENON GmbH, Deutschland). Aufgrund der hohen Wassermengen müsste eine viertrassige ZeeWeed®-Anlage installiert werden. Deren elektrischer Energiebedarf wird mit  $< 70 \text{ Wh} / \text{m}^3$  Filtrat angegeben. Bei einer Zulaufmenge von 1800 m<sup>3</sup> Wasser / h ergibt sich für das Filtermodul ein Energiebedarf von 126 kW. Die Membranersatzkosten betragen etwa weitere 1,5 Cent / m<sup>3</sup> Filtrat (bei 1800 m<sup>3</sup> / h entspr. 19440 € / Monat). Die Reinigung des Filters muss periodisch mit verschiedenen Chemikalien (z.B. Chlordioxid alle 2-4 Wochen) erfolgen. Zusätzlich sind mindestens zweimal jährlich Hauptreinigungen durchzuführen, bei denen die Filtermodule ausgebaut und in Reinigungsbehältern chemisch gesäubert werden. Die Membranfiltration kann aufgrund der hohen Aufwendungen für die Membranmodule, der Energiekosten zum Aufbau der erforderlichen Drücke (zur Rückspülung) und der

Chemikalienkosten gegenwärtig noch nicht für den Einsatz in der Aquakultur empfohlen werden (Knösche 2003).

Die Filtration des Zulaufwassers mittels eines Trommelfilters erfordert bei Wassermengen von 500 L / s eine Filterfläche von ca. 150 m<sup>2</sup>. Diese Leistung könnte durch etwa 8-9 Filter des Typs HDF-I-2007 (Fa. Fischtechnik Fredelsloh, Deutschland) erbracht werden. Der Anschaffungspreis für einen einzelnen Filter beträgt etwa 85 T€. Die Leistungsaufnahme des Einzelgerätes ist gering und beträgt ca. 1,1 kW. Zum Betrieb sind jedoch weitere Einheiten notwendig, wie z.B. Spülpumpen, Schaltkästen etc. Die elektrische Leistungsaufnahme einer Spülpumpe beträgt 3 kW. Der Aufwand zur Installation der Filter, inklusive Platzbedarf ist immens. Aufgrund der hohen Algenbelastung des Zulaufwassers würden sich die feinporigen Filter sehr schnell zusetzen und müssten zur Aufrechterhaltung ihrer Effektivität ständig mit Spülwasser gereinigt werden. Der Filterrückstand müsste entsorgt oder an der Fischhälterungsanlage vorbeigeleitet werden. Es kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass es auf den Filtern trotz Rückspülung zur Ausbildung sogenannter ‚biologischer Rasen‘ käme, welche die Filterleistung beeinträchtigen.

Die mechanische Filterung ist sehr umweltverträglich. Dieses Verfahren erfordert keine zusätzlichen Chemikalien und produziert umweltschädliche Stoffe. Der Stromverbrauch eines Filters inklusive Spülpumpe ist vergleichsweise gering.

### 6.1.6 Elektrischer Strom

Von Wlasenko (1972) liegen Laborergebnisse zur Bekämpfung von *Diplostomum-spathaceum*-Zerkarien mittels elektrischem Strom vor. Zur Versuchsdurchführung wurden in 10-ml-Gefäßen zwei einander gegenüberliegende Metallplatten installiert und ein elektrisches Feld von 100-300 V / cm erzeugt. Waren *D.-spathaceum*-Zerkarien diesem Feld für 0,1-3,5 s ausgesetzt, so führte dies zum Tod bzw. zur verminderten Infektionsfähigkeit der Testindividuen. Zur Erzeugung eines ähnlich starken elektrischen Feldes im Einlaufrohr der Fischhälterungsanlage Sproitz (NW 800) wäre (entsprechend Gl. I-III sowie einer aufzubringenden Feldstärke von 175 V / cm, einer Einwirkungsdauer von t = 0,3 s, einer Spannung von 400 V und einer zu behandelnden Wassermenge von 1800 m<sup>3</sup> / h) eine elektrische Leistung von etwa 1803,6 kW aufzubringen. Dieses elektrische Feld wäre gegen sämtliche eindringenden Organismen gerichtet. Bereits in der Anlage vorhandene Dreikantmuscheln (und Parasiten) würden in ihrer Existenz nicht beeinträchtigt.

$$(I) E = U / \Delta L$$

E = elektrische Feldstärke (V / cm)

$$(II) S = K \times E$$

S = Stromdichte (A / m<sup>2</sup>)

K = elektrische Leitfähigkeit (μS / cm)

(III)  $I = S \times A$

I = Stromstärke (A)

A = Fläche

Anhand dieses sehr hohen Leistungsbedarfes wird bereits offensichtlich, dass dieses Verfahren technisch nur mit sehr hohem Aufwand (und entsprechenden Kosten) zu installieren wäre und auch die täglichen Betriebskosten unermesslich sind. Zudem sind bei diesen Spannungen im feuchten Milieu elektrische Entladungen (Überschläge) zu erwarten, so dass starke sicherheitstechnische Bedenken gegen dieses Verfahren bestehen. Die Einschätzungen von Odening (1990) und Roberts und Schlotfeldt (1985) zur Ineffizienz des elektrischen Stromes als Maßnahme zur Zerkarienbekämpfung sind nach wie vor gültig.

Die Bekämpfung der Parasitenstadien im elektrischen Feld wäre umweltfreundlich, weil keinerlei toxische Substanzen verwendet oder produziert werden. Eine Lärmbelästigung entsteht nicht. Die Aufwendungen zur Erzeugung der elektrischen Leistung sind immens. Unbedingt zu beachten ist die hohe Unfallgefahr!

### **6.1.7 Biologische Bekämpfung**

Als abschließende Möglichkeit zur Unterbrechung des Lebenszyklusses von *B. polymorphus* in der Fischhälterungsanlage Sproitz und somit zur potenziellen Lösung der Zerkarienproblematik soll die biologische Bekämpfung der Dreikantmuscheln erwähnt werden. Es ist bekannt, dass molluscivore Fische, wie z. B. *Mylopharyngodon piceus* nennenswerte Mengen an Schnecken und Muscheln konsumieren. Obwohl der Erwerb und Besatz der Teiche, Zuläufe und Hälterungseinrichtungen mit entsprechenden Fischarten eine kostengünstige Methode der Parasitenbekämpfung darstellt, birgt der Einsatz exotischer Spezies ein sehr hohes Umweltrisiko. In den USA sind endemische Muschelpopulationen in ihrem Bestand bedroht, seitdem triploide *M. piceus* aus Fischfarmen entwichen sind (<http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-IMPACT/2002/July/Day-30/i19158.htm>); zahlreiche weitere Beispiele sind bekannt, dass eingebürgerte Arten beträchtliche Schäden in der heimischen Flora und Fauna hervorriefen. Aus diesen Gründen soll diese (potenzielle) Methode der biologischen Bekämpfung von *B. polymorphus* nicht weiter ausgeführt werden.

In der Tabelle 6 sind die dargelegten Bekämpfungsverfahren hinsichtlich ihrer Effektivität, der Kosten und der Umweltverträglichkeit schematisch zusammengestellt. (Aus sachlichen Gründen sind die Energieaufwendungen gesondert von der Umweltverträglichkeit aufgeführt.) Die finanziellen Angaben beziehen sich auf Geräte zur Behandlung des gesamten Zulaufwassers.

Tab. 6: Vergleich verschiedener technischer Verfahren der Erregerbekämpfung unter Berücksichtigung von Anschaffungskosten, Energieverbrauch, Umweltverträglichkeit und Effektivität, schematisch, bezogen auf 1 Jahr.

Verfahren	Anschaffungskosten <sup>1</sup>	Wartung <sup>2</sup>	Energie <sup>3</sup>	Umwelt <sup>4</sup>	Effektivität <sup>5</sup>
Mechanisch	gering	gering	gering	sehr gut	gering
Ultraschall	mittel	hoch	sehr hoch	sehr gut	begrenzt
UV- Bestrahlung	hoch	hoch	mittel	sehr gut	hoch
Ozon	hoch	mittel	gering	gut	begrenzt
Filtersystem	sehr hoch	hoch	hoch	schlecht	mittel
Elektrisches Feld	gering	gering	sehr hoch	sehr gut	hoch
Biologisch	gering	gering	gering	kritisch	hoch

<sup>1</sup> geschätzt, gering < 50 T€, mittel 50-100 T€, hoch 100-200 T€, sehr hoch > 200 T€

<sup>2</sup> gering < 1000 €, mittel 1000-5000 €, hoch 5-20 T€, sehr hoch > 20 T€

<sup>3</sup> gering < 100 €, mittel 100-200 €, hoch 200-2000 T€, sehr hoch > 2000 T€

<sup>4</sup> bezogen auf Chemikalieneinsatz; ohne Berücksichtigung von Energieaufwendungen

<sup>5</sup> bezogen auf Zerstörung / Beeinträchtigung von Trematodenstadien bzw. Muscheln

## 6.2 Konzept zur großtechnischen Bekämpfung von Parasiten

Bevor abschließend Empfehlungen zur Zerkarienbekämpfung in der Fischhälterungsanlage Sproitz dargestellt werden, ist es notwendig, nochmals wesentliche Aspekte der gegenwärtigen Erregersituation darzustellen und auf die verschiedenen Stärken und Schwächen der Lösungsansätze hinzuweisen.

In den Teichen, Zuläufen und Hälterungseinrichtungen der Fischzuchtanlage befinden sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt beträchtliche Mengen infizierter Dreikantmuscheln, die vor allem in den Sommermonaten Fischverluste verursachen. Die Beseitigung dieser Muschelbestände könnte das Problem der *B.-polymorphus*-Invasionen der Fische deutlich entschärfen. Durch Trockenlegung oder Kalkung zur Schaffung eines pH-Wertes  $\geq 11$  (Schäperclaus 1990) wäre es möglich, die Abundanzen der Muscheln zu verringern. Trotz dieser Maßnahmen ist mit überlebenden Individuen zu rechnen, welche sich in der Folgezeit vermehren und ausbreiten. Zusätzlich ist mit einem Eintrag weiterer Mollusken durch Vögel, Säuger und v.a. über das Zulaufwasser auszugehen. Im Ergebnis bilden sich hohe Muschelpopulationen in der Anlage aus. Eine Sanierung durch Trockenlegung und Kalkung wäre daher in regelmäßigen Abständen angezeigt. Für den Bereich der Hälterungsanlage wird darüber hinaus die Entfernung von Muscheln aus den Verteilerschächten mittels eines Keschers empfohlen, um den Erregerdruck zu mindern.

Unter Verwendung einer technischen Anlage (Filter, UV-Gerät, Ultraschall) kann der Eintrag von Muscheln über das Zulaufwasser verringert werden. Dennoch kann auch durch den

Einsatz von Technik kein vollständiger Schutz vor mitgeführten Trematodeneiern, Mirazidien, Zerkarien oder Muschellarven garantiert werden. Es ist somit auch in der Zukunft weiterhin mit einem gewissen Anteil infizierter Muscheln in den Einrichtungen der Fischhälterungsanlage Sproitz zu wirtschaften.

Durch die Installation einer technischen Anlage (UV-Gerät, Ultraschall, Filter) wäre es sowohl möglich, Zerkarieninvasionen zu erschweren als auch Trematodeneier und Mirazidien, welche als Agens der Muschelinfektionen fungieren, funktionell zu beeinträchtigen bzw. aus dem Zulaufwasser zu entfernen. Zur Vernichtung der Zerkarien lieferte die Ultraschallanwendung die besten Resultate, UV-Anlagen scheinen ebenfalls zur Vernichtung von Parasitenlarven geeignet zu sein. Von dem Einsatz von Ozonierungsanlagen, Filtern und elektrischem Strom wird abgeraten, da die aufzubringenden Anschaffungs- und Unterhaltungskosten bzw. Energieaufwendungen sehr hoch und / oder der zu erwartende Erfolg fraglich sind. Es soll allerdings darauf hingewiesen werden, dass die Einschätzungen zur Erregerbekämpfung ausschließlich auf den an Karpfen ermittelten Resultaten basieren, da die in den Versuchen eingesetzten Regenbogenforellen aufgrund des langanhaltend heißen Sommers vorzeitig verendeten und daher nicht mehr für die Auswertung zur Verfügung standen. Es ist daher sinnvoll, vor der Installation einer großtechnischen Anlage zur Behandlung des gesamten Zulaufwassers einen erneuten Feldversuch durchzuführen, um auch die Effektivität der geplanten Maßnahmen in Bezug auf die Hälterung von Regenbogenforellen, welche sich gegenüber *B.-polymorphus*-Infektionen als sehr empfänglich erwiesen hatten, abzuschätzen. In jedem Falle ist jedoch die Installation einer großtechnischen Anlage zur Behandlung des gesamten Zulaufwassers sehr teuer. Selbst wenn die Wassermenge von 500 L / s nur gelegentlich zu behandeln sein würde, müssten diese Volumenbereiche dennoch zu Grunde gelegt und die Anlagen entsprechend groß konzipiert werden. Der Einsatz des Ultraschallgerätes erwies sich zur Zerkarienbekämpfung zwar als sehr effektiv, aber unter Berücksichtigung der hohen Kosten für die Anschaffung, den Betrieb und die Unterhaltung kann diese Methode aus ökonomischen Gründen derzeit nicht empfohlen werden. Die gleiche Aussage gilt im Wesentlichen auch für die verfügbaren UV-Geräte, Ozonierungsanlagen und Filter. Die hohen Wasservolumina erfordern in jedem Fall leistungsstarke Geräte, bei denen neben der Anschaffung auch die Betriebskosten in keinem wirtschaftlichen Verhältnis zu den potenziell erzielbaren Gewinnen der Fischzuchtanlage Sproitz stehen.

Ein generelles Risiko bei der Behandlung des gesamten Zulaufwassers besteht im (Teil-) Ausfall eines einmal installierten Gerätes: In einer derartigen Situation würden massenweise Erreger für den Zeitraum bis zur Behebung des Fehlers unbehandelt in die Fischhälterungsanlage geleitet und dort zur Infektion der stets vorhandenen Dreikantmuscheln führen. Dieser Befall erfolgt nach eigenen Erfahrungen sehr schnell und überaus effektiv (vgl. Feldversuche). In der Folge würden erneut über etwa 5-10 Jahre Zerkarien produziert und entsprechende Fischverluste auftreten. Die Beendigung dieser Situation würde erst mit dem natürlichen Tod der infizierten Individuen eintreten. Auch aus diesem Grunde muss eine Behandlung des gesamten Zulaufwassers abgelehnt werden.

Nach Analyse der verfügbaren Bekämpfungsverfahren hinsichtlich ihrer Effektivität bei der Erregerbekämpfung und der zu kalkulierenden Kosten ist es sinnvoller, kleinere Produktionseinheiten separat zu behandeln. Zur Bekämpfung von *B.-polymorphus*-Zerkarien und anderer fischpathogener Keime wird eine flexible Ultraviolettbehandlung des Wassers unmittelbar vor dessen Eintritt in die Produktionseinheiten (Hälter und Teiche) empfohlen. Ein Vorteil dieser Methode ist die generell pathogene Wirkung ultravioletter Strahlung gegen lebende Organismen und somit gegen zahlreiche verschiedene fischpathogene Erreger. Die flexible Installation von UV-Lampen in den Zulaufrohren gestattet es, exakt bei Bedarf, d.h. kurz vor dem Besetzen der einzelnen Produktionseinrichtungen, mit der Inbetriebnahme der jeweiligen Lampen zu beginnen. Unabhängig von der Wassertemperatur und der damit verbundenen Produktion von Zerkarien ist eine UV-Behandlung des Wassers zudem nur bei empfindlichen Fischarten (z.B. Karpfen oder Regenbogenforelle) und nur während deren Hälterungsperiode notwendig. Durch das Anbringen von UV-Lampen an den Zulaufrohren der Hälterungseinheiten werden zudem jedwede Erreger, inklusive Zerkarien erfasst und funktionell geschädigt, unabhängig vom Ort ihrer Entstehung bzw. Freisetzung oder ihrer Körpergröße. Bei einem (Teil-)Ausfall von UV-Lampen werden nur in der betroffenen Hälterungseinheit Erreger eingeschleppt; die anderen Produktionseinrichtungen bleiben von dem Geräteausfall unberührt. Da zum Auswechseln beschädigter UV-Lampen kein Fachpersonal angefordert werden muss, können Reparaturen selbständig und somit schnell und kostengünstig durchgeführt werden. Des Weiteren ist der Austausch nicht mehr leistungsfähiger Lampen problemlos jederzeit und bezüglich weiterer Infektionen risikolos auch während der warmen Jahreszeit möglich.

Zur effektiven Behandlung des Wassers sollte eine UV-C-Strahlendosis von  $> 400 \text{ J} / \text{m}^2$  Anwendung finden. Auf dem Markt sind verschiedene Modelle unterschiedlicher Firmen erhältlich, die die geforderte Strahlendosis erbringen und auch entsprechende Wassermengen und -qualitäten bewerkstelligen. Die Anschaffungskosten für eine einzelne UV-Lampe betragen bis zu 500 €; die Leistungsaufnahme einer separaten Strahlungseinheit ist bis 400 W.

## 7 LITERATUR

- Amlacher, E. (1992). Taschenbuch der Fischkrankheiten, 6/Ed. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- Anonym (1993) Richtlinien über das fachgerechte und tierschutzkonforme Töten von Versuchstieren. Richtlinie Tierschutz 3.01. Bundesamt für Veterinärwesen.
- Baturo, B. (1977). *Bucephalus polymorphus* Baer, 1827 and *Rhipidocotyle illense* (Ziegler, 1833) (Trematoda, Bucephalidae): morphology and biology of developmental stages. *Acta Parasitol.Polon.* **24**, 203-220.
- Baturo, B. (1978). Larval bucephalosis in artificially heated lakes of the Konin region, Poland. *Acta Parasitol.Polon.* **25 (37)**, 307-321.

- Baturo, B. (1980). Pathological changes in cyprinid fry infected by *Bucephalus polymorphus* Baer, 1827 and *Rhipidocotyle illensis* (Ziegler, 1883) metacercarie (Trematoda, Bucephalidae). *Acta Parasitol.Polon.* **27**, 241-246.
- Bauer, O. N. (1987). *Opredelitel' parazitov presnovodnykh ryb fauny SSSR*, Akademia Nauk SSSR, Leningrad.
- Bohl, M. (1999). *Zucht und Produktion von Süßwasserfischen*. DLG-Verlag, München.
- Buchmann, K. und Uldal, A. (1994). Effects of eyefluke infections on growth of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in a mariculture system. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* **14** (3), 104-107.
- Bush, A. O., Lafferty, K. D., Lotz, J. M. und Shostak, A. W. (1997). Parasitology meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited. *J.Parasitol.* **83**, 575-583.
- Cornelius, W. O. (1935). Kaulbarschsterben durch Larven von *Cotylurus variegatus* (Tertracotyle ovata). *Z.Fischerei* **33**, 547-549.
- Cornely, M., Schuster, R. und Westphal, M. (1990). Untersuchungen zum Vorkommen von Metazercarien der Gattung *Diplostomum* bei intensiv gehaltenen Forellen im Bezirk Neubrandenburg. *Z.- Binnenfisch.- DDR* **37** (5), 145-153.
- Crofton, H. D. (1971). A quantitative approach to parasitism. *Parasitology* **62**, 179-193.
- Crowden, A. E. und Broom, D. M. (1980). Effects of the eyefluke, *Diplostomum spathaceum*, on the behaviour of dace (*Leuciscus leuciscus*). *Anim.Behav.* **28**, 287-294.
- Ejsymont, L. (1970). Parasites of common burbot, *Lota lota lota* (L.), from the river Biebrza. *Acta Parasitol.Polon.* **17**, 195-201.
- Ergens, R., Gussev, V. A., Izjumova, N. A. und Molnar, K. (1975). Parasite fauna of fishes of the Tisa River Basin, Academia, Praha.
- Esch, G. W. und Fernandez, J. C. (1993). *A functional biology of parasitism*, 1/Ed. Chapman & Hall, London.
- Grabda, E. und Grabda, J. (1967). Masowa inwasia metacerkarii *Bucephalus polymorphus* BAER, 1827 w oku leszcza - *Abramis brama* (L.). *Wiadomosci Parazytologiczne* **13** (6), 733-735.
- Graczyk, T. K. und Fried, B. (2001). Helminth biology, adaptation, transmission and survival. *Recent Res. Devel. Microbiology* **5**, 171-185.
- Haas, W. (1974a). Analyse der Invasionsmechanismen der Cercarie von *Diplostomum spathaceum* - I. Fixation und Penetration. *International Journal for Parasitology* **4**, 311-319.
- Haas, W. (1974b). Analyse der Invasionsmechanismen der Cercarie von *Diplostomum spathaceum* - II. Chemische Invasionsstimuli. *International Journal for Parasitology* **4**, 321-330.
- Hamers, R. und Schreckenbach, K. (2002). Stress bei Fischen. *Auf Auf* **2**, 5-9.
- Heinemann, E. (1937). Wieder Fischsterben im Kurischen Haff. *Fischerei-Ztg.* **40(28)**, 333-335.
- Hoffmann, R. W., Körting, W., Fischer-Scherl, T. und Schäfer, W. (1990). An outbreak of bucephalosis in fish of the Main river. *Angew. Parasitol.* **31**, 95-99.

- Huffman, D. E., Gennaccaro, A., Rose, J. B. und Dussert, B. W. (2002). Low- and medium-pressure UV inactivation of microsporidia *Encephalitozoon intestinalis*. *Water Res.* **36**, 3161-3164.
- Kamenskij, I. W. (1970). Wlijanie ul'traswuka na jayza i litschinok nekotorykch trematod ryb. *Bjulleten' Wsesojusnogo ordena Trudowogo Krasnogo Snameni instituta gel'mintologii im. K. I. Skrjabina* **4**, 47-50.
- Karanis, P., Maier, W., Schoenen, D. und Seitz, H. M. (1991). Studies on the lethal effect of ultraviolet light on *Trichomonas vaginalis*. *Parasitol. Res.* **77**, 369-373.
- Knösche, R. (2003). Aus aller Welt. *Fischer und Teichwirt* **2**, 59-62.
- Körting, W. (1992). Parasitosen der Fische (Süßwassernutzfische). In "Veterinärmedizinische Parasitologie" (J. Eckert, E. Kutzer, M. Rommel, H.-J. Bürger and W. Körting, eds.), pp. 777-834. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Kulow, H. (1990). Prophylaxe und Therapie der Fischkrankheiten. In "Fischkrankheiten" (W. Schäperclaus, ed.), pp. 146-249. Akademie-Verlag, Berlin.
- Liltvet, H. und Cripps, S. J. (1999) Removal of particle-associated bacteria by prefiltration and ultraviolet irradiation. *Aquaculture Res.* **30**, 445-450.
- Liltved, H., Hektoen, H. und Efraimsen, H. (1995). Inactivation of bacterial and viral fish pathogens by ozonation or UV irradiation in water of different salinity. *Aquacultural Engineering* **14**, 107-122.
- Loy, C. und Haas, W. (2001). Prevalence of cercariae from *Lymnaea stagnalis* snails in a pond system in Southern Germany. *Parasitol Res* **87**, 878-882.
- Lyholt, H. C. K. und Buchmann, K. (1996). *Diplostomum spathaceum*: effects of temperature and light on cercarial shedding and infection of rainbow trout. *Dis.aquat.Org.* **25**, 169-173.
- Masschelein, W.J. (1998). Ozone generation: use of air, oxygen or air simpsonized with oxygen. *Ozone Science and Engineering* **20**, 191-203.
- Mattheis, T. und Odening, K. (1980). Zur Rolle der Fische im Lebenszyklus der *Ichthyocotylurus*-Arten (Trematoda: Strigeidae) im Einzugsgebiet von Spree und Havel. *Milu* **5**, 261-278.
- Molnar, K. (1969). Beiträge zur Kenntnis der Fischparasitenfauna Ungarns IV. Trematoden. *Parasit.Hung.* **2**, 119-136.
- Neumann, D. und Jenner, H. A. (1992). Studies on the ecology and ecotoxicology of the zebra mussel *Dreissena polymorpha*. *Limnologie aktuell* **4**, 1-4.
- Odening, K. (1978). Trematodenliste der DDR. *Angew.Parasitol.* **19**, 168-186.
- Odening, K. (1990). Helminthosen. In "Fischkrankheiten" (W. Schäperclaus, ed.), pp. 630-753. Akademie-Verlag, Berlin.
- Odening, K. und Bockhardt, I. (1971). Der Lebenszyklus des Trematoden *Cotylurus variegatus* im Spree-Havel-Seengebiet. *Biol.Zbl.* **90**, 49-84.
- Odening, K., Mattheis, T. und Bockhardt, I. (1970). Der Lebenszyklus von *Cotylurus c. cucullus* (Thoss) (Trematoda, Strigeida) im Raum Berlin. *Zool.Jb.Syst.* **97**, 125-198.

- Owen, S. F., Barber, I. und Hart, P. J. B. (1993). Low level infection by eye fluke, *Diplostomum* ssp., affects the vision of three-spined sticklebacks, *Gasterosteus aculeatus*. *J.Fish Biol.* **42**, 803-806.
- Paperna, I. (1996). Parasites, infections and diseases of fishes in Africa. FAO, CIFA Technical paper 31, 220 p., zit. bei Diler, Ö. und Yildirim, U. (2003). Metacercariae of *Bucephalus polymorphus* Baer, 1827 described in *Knipowitshia caucasica* in Egedir Lake, Turkey. *Bull. Eur. Ass. Fish Pathol.* **23**, 201-204.
- Pennycuik, L. (1971). Differences in the parasite infections in three-spined sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* L.) of different sex, age and size. *Parasitology* **63**, 407-418.
- Pietroock, M. (1998). Faunistisch-ökologische Untersuchungen zum Endohelminthenbefall von Zope (*Abramis ballerus*) und Kaulbarsch (*Gymnocephalus cernuus*) aus der Unteren Oder, Wissenschaft & Technik Verlag, Berlin.
- Pohl, E. (1954). Einige Beobachtungen an einem Darmparasiten des Zanders. *Deutsche Fischerei-Zeitung* **1**, 198-201.
- Pojmanska, T. (1985). An analysis of seasonality of incidence and maturation of some fish parasites, with regard to thermal factor. IV. *Bucephalus polymorphus* Baer, 1827. *Acta Parasitol.Polon.* **30 (3)**, 25-34.
- Prah, S. K. und James, C. (1977). The influence of physical factors on the survival and infectivity of miracidia of *Schistosoma mansoni* and *S. haematobium* I. Effect of temperature and ultra-violet light. *J. Helminthol.* **51**, 73-85.
- Pucilowska, A. (1969). Dynamics of infection with endoparasites of fishes in the Zegrzynski Reservoir. *Acta Parasitol.Polon.* **16**, 33-46.
- Reimer, L. W. (2000). Parasiten von Weserfischen. *Naturschutz und Landschaftspflege im Regierungsbezirk Detmold*, 35.
- Roberts, R. J. und Schlotfeldt, H.-J. (1985). Grundlagen der Fischpathologie. Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg.
- Schäfer, W. und Hoffmann, R. (1985). Fischsterben im Main. *Fischer und Teichwirt* **7**, 199-202.
- Schreckenbach, K. und Wedekind, H. (2003). Tierschutz- und praxisgerechte Bewirtschaftung von Angelteichen. *Amtstierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle* **1**, 20-29.
- Schreckenbach, K., Steffens, W. und Zobel, H. (1987). Technologien, Normen und Richtwerte der Fischproduktion. Inst. f. Binnenfischerei, Berlin.
- Schuster, R., Wanjek, C. und Hering-Hagenbeck, S. (1998). Untersuchung von Karpfenfischen (Cyprinidae) auf Metazerkarien der Familie Opisthorchiidae. *Mitt. Österr. Ges. Tropenmed. Parasitol.* **20**, 123-129.
- Shariff, M., Richards, R. H. und Sommerville, C. (1980). The histopathology of acute and chronic infections of rainbow trout *Salmo gairdneri* Richardson with eye flukes, *Diplostomum* spp. *Journal of Fish Diseases* **3**, 455-465.
- Shirakashi, S. und Goater, C. P. (2001). Parasites affect visually-mediated behaviours in fathead minnows. *Ecoscience* **8**, 289-293.

- Skrjabin, K. I. und Guschanskaja, L. CH. (1962). "Trematody zivotnych i celoveka - osnovy trematologii," 20/Ed. Akademija nauk SSSR, Moskva.
- Sommer, R., Weber, G., Cabaj, A., Wekerle, J. Keck, G. und Schaubberger, G. (1989). UV-Inaktivierung von Mikroorganismen im Wasser. *Zbl. Hyg.* **189**, 214-224.
- Summerfelt, S.T. (2003). Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications. *Aquacultural Engineering* **28**, 21-36.
- Sweeting, R. A. (1974). Investigations into natural and experimental infections of freshwater fish by the common eye-fluke *Diplostomum spathaceum* Rud. *Parasitology* **69**, 291-300.
- Szidat, L. (1927). Über ein Fischsterben im Kurischen Haff und seine Ursachen. *Z.Fischerei* **25**, 83-90.
- Taskinen, J., Valtonen, E. T. und Gibson, D. I. (1991). Studies on bucephalid digeneans parasiting molluscs and fishes in Finland I. Ecological data and experimental studies. *Systematic Parasitology* **19**, 81-94.
- ter Höfte, B. B. und Arend, P. (1997). Gesund wie der Fisch im Wasser? Tetra-Verlag, Melle.
- Thomas, J. D. (1964). A comparison between the helminth burdens of male and female brown trout, *Salmo trutta* L., from a natural population in the River Teify, West Wales. *Parasitology* **54**, 263-272.
- Wedemeyer, G. A., Nelson, N. C. und Yasutake, W. T. (1979). Physiological and biochemical aspects of ozone toxicity to rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Fish. Res. Board Can.* **36**, 605-614.
- Wierzbicka, J. (1977). Trematodes of *Abramis brama*, *A.ballerus*, and *Blicca bjoerkna* from the Dabie lake, Poland. *Acta Parasitol.Polon.* **25**, 1-16.
- Wierzbicka, J., Gora, D. und Dubowska, G. (1982). Parasites of *Acerina cernua* (L.) in the Szczecin Firth. *Acta ichthyol.et piscat.* **12 (3)**, 51-61.
- Williams, H. und Jones, A. (1994). Parasitic worms of fish, Taylor & Francis, London.
- Wlasenko, M. I. (1969). Ustojschiwost' zerkarij *Diplostomum spathaceum*, Rud., 1819 k ul'trafiioletowomu islutscheniju. *Parasitologija* **3**, 420-425.
- Wlasenko, M. I. (1972). Elektrischeskij tok w profilaktike diplostomosa ryb. *Woproczy ichtiologii* **12**, 923-929.
- Yamaguti, S. (1975). A synoptical review of life histories of digenetic trematodes of vertebrates, Keigaku Publishing Co., Tokyo, Japan.
- Zander, C. D. (1998). Parasit-Wirt-Beziehungen, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Zemke, V., Podgorsek, L. und Schoenen, D. (1990). Ultraviolett disinfection of drinking water: 1. Communication: inactivation of *E. coli* and coliform bacteria. *Zentralbl. Bakteriol. Mikrobiol. Hyg. (B)* **190**, 51-61.