

# Infektionskrankheiten: Eine Gefahr für unsere Bachforellen?



In der letzten Zeit sind im Zusammenhang mit den Forellenbeständen vor allem drei Krankheiten in den Vordergrund gerückt: Proliferative Nierenkrankheit, *Saprolegnia parasitica* und *Epitheliocystis*. Gerade für Jungfische sind diese Krankheiten eine sehr grosse Belastung.

von Nicole Strepparava, Heike Schmidt-Posthaus und Thomas Wahl

In Schweizer Fliessgewässern wurde in den letzten 30 Jahren ein massiver Fangrückgang von Bachforellen (*Salmo trutta fario*) festgestellt (Burkhardt et al. 2005). Als Ursache für diesen Rückgang werden verschiedene Stress-Faktoren diskutiert, unter anderem Verschlechterung des Habitats, Wasserverschmutzung, Veränderungen im Abfluss- und Temperaturregime, verminderte Reproduktion und damit weniger Nachkommen sowie Krankheiten (Burkhardt et al. 2005, Burkhardt-Holm 2008). Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass die veränderte Morphologie der Fliessgewässer und die fehlende Vernetzung untereinander, insbesondere aber auch die Verlegung in den Untergrund, zu einem Verlust von Habitaten und einer Einschränkung der Wandermöglichkeiten führten. Hingegen wurden – ausser in vereinzelt stark belasteten Gewässern

– keine Hinweise auf eine verminderte Vermehrungs- sowie Überlebensfähigkeit von Eiern und Jungfischen gefunden, welche die Aufrechterhaltung von Populationen beeinträchtigt hätten. Von grosser Bedeutung für das Aufkommen von Jungfischen erwies sich jedoch der Gesundheitszustand. Insbesondere die Proliferative Nierenkrankheit wurde als möglicher wichtiger Faktor ermittelt. So fiel in Gewässern mit nachgewiesener Proliferativer Nierenkrankheit das Überleben von Jungtieren teils unter Werte, welche für die langfristige Aufrechterhaltung von Populationen notwendig sind (Hari et al. 2006, Korner et al. 2007, Zimmerli et al. 2007).

Dies liess sich auch mit einer multivariaten Analyse unter Einbezug verschiedener möglicher Einflussfaktoren bestätigen. Die mit unterschiedlichen Methoden durch-

geführte Analyse (Burkhardt et al. 2005) zeigte, dass die Proliferative Nierenkrankheit zusammen mit weiteren Stress-Faktoren eine entscheidende Rolle für den Rückgang der Fänge von Bachforellen in Schweizer Fliessgewässern spielt (Burkhardt-Holm 2008).

In den letzten Jahren sind neben Proliferativer Nierenkrankheit auch noch zwei weitere Krankheiten in den Fokus des Interesses getreten, nämlich *Saprolegnia*-Infektionen sowie *Epitheliocystis*. Im Folgenden wird auf diese drei Krankheiten und auf Projekte in deren Zusammenhang näher eingegangen.

## **Proliferative Nierenkrankheit der Salmoniden**

Die Proliferative Nierenkrankheit (abgekürzt PKD) gilt als «emerging disease»,

welche vor allem Salmoniden betrifft (Dash & Vasemagi 2014, Mo et al. 2011, Skovgaard & Buchmann 2012). Verursacht wird die Krankheit durch den zu den Myxozoen gehörenden Parasiten *Tetracapsuloides bryosalmonae* (Abb. 1). Myxozoen werden heute dem Stamm der Nesseltiere (Cnidaria) zugeordnet (Nesnidal et al. 2013). Der Lebenszyklus von *T. bryosalmonae* umfasst Moostierchen (Bryozoen) als wirbellose Wirte, und Fische als Wirbeltierwirte, insbesondere Salmoniden. In beiden Wirten werden Sporen gebildet, die sich jedoch morphologisch deutlich voneinander unterscheiden. Eine direkte Übertragung des Erregers von Fisch zu Fisch ist nicht möglich, das heisst für das Schliessen des Zyklus sind beide Wirtstypen zwingend notwendig.

In Abhängigkeit von den herrschenden Umweltbedingungen können sich in befallenen Fischen unterschiedlich starke Krankheitsanzeichen ausbilden. Diese umfassen eine Abdunkelung, vorstehende Augen und insbesondere eine deutliche Vergrösserung der Niere (Abb. 2), bedingt durch eine Entzündungsreaktion im blutbildenden Gewebe, das sich bei Fischen in der Niere befindet (Hedrick et al. 1993). Je nach Wassertemperatur kann es zu massiven Abgängen kommen (Bettge et al. 2009, Schmidt-Posthaus et al. 2001, 2012a). Befallen werden insbesondere Jungfische, die erstmals mit dem Erreger in Kontakt kommen.

Seit 2000 wurden verschiedene gross angelegte Untersuchungen zum Vorkommen der Krankheit in Schweizer Fließgewässern durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass in über 40 Prozent aller untersuchter Gewässer befallene Fische vorhanden sind (Wahli et al. 2002, Wahli et al. 2007). Hauptsächlich wurde die Krankheit in Flüssen des Schweizer Mittellandes gefunden, während oberhalb von 800 m.ü.M. kaum noch Stellen mit infizierten Fischen festzustellen waren (Wahli et al. 2008). Interpretiert wurde dies im Zusam-

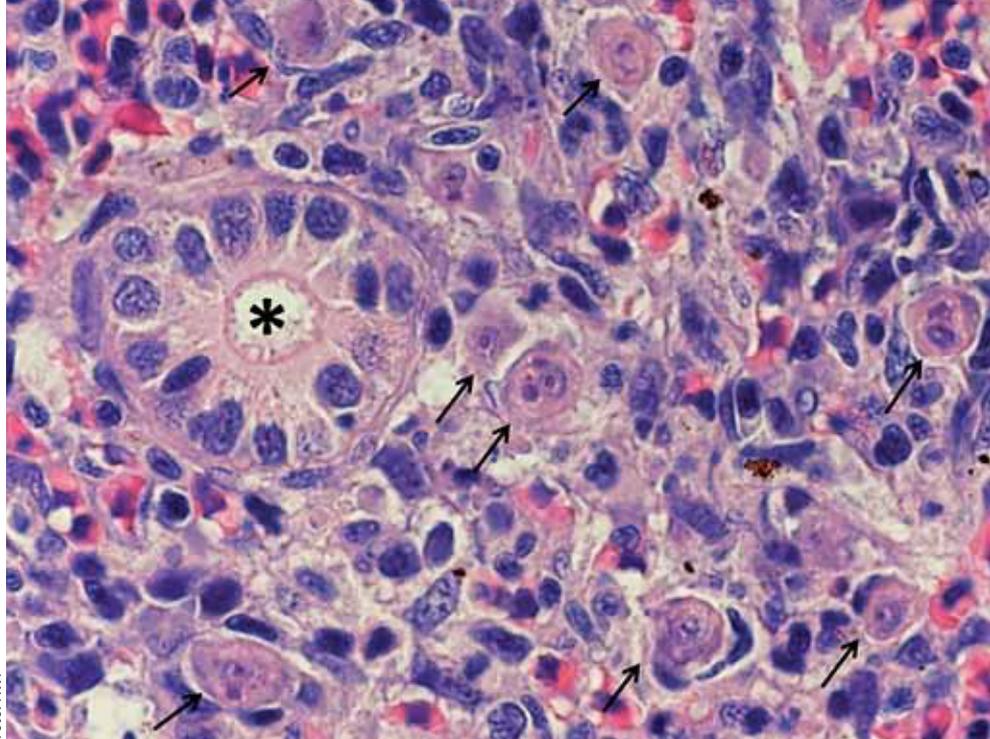


Foto: FWI

▲ Abbildung 1: Ausschnitt der Niere einer Bachforelle mit einem Nierentubulus (Stern \*) und Parasitenanschnitten (Pfeile).

menhang mit der Temperaturabhängigkeit der Krankheit. Bei Regenbogenforellen konnte gezeigt werden, dass die Zeitdauer bis zum Erreichen des Höhepunktes der Infektion und die Regenerationsdauer bei überlebenden Tieren sowie die Mortalität von der Wassertemperatur abhängen, nicht jedoch die Art und der Ausprägungsgrad der Veränderungen (Bettge et al. 2009, Schmidt-Posthaus et al. 2012).

In einem grossen Projekt werden derzeit Einflussfaktoren auf die verschiedenen Wirte von *T. bryosalmonae* untersucht. Ziel dieses vom Schweizerischen Nationalfonds finanzierten Sinergia-Projektes mit vier Partnern im In- und Ausland ist ein Modell, welches Aussagen über künftige Verbreitung und Auswirkung der Proliferativen Nierenkrankheit auf den Forellenbestand im Zusammenhang mit sich ändernden Umweltbedingungen erlaubt. Bisher wurden Versuche zum Einfluss der Wassertemperatur und der Infektionsdosis auf die

▼ Abbildung 2: Zwei Bachforellen mit knotigen Veränderungen in der Niere bedingt durch den Befall mit *Tetracapsuloides bryosalmonae*.



Foto: FWI



Foto: FWI

▲ Abbildung 3: Bachforelle mit Verpilzungen auf verschiedenen Körperpartien.

Entwicklung des Parasiten im Fischwirt durchgeführt. Die Temperatur beeinflusste hauptsächlich den Zeitpunkt der maximalen Parasitendichte im Fisch sowie den Ausscheidungsbeginn von Sporen, jedoch nicht die Anzahl Parasiten in der Niere beziehungsweise die Menge ausgeschiedener Sporen. Ebenfalls in diesem Projekt wird untersucht, ob klare Zusammenhänge bestehen zwischen Bryozoen-Vorkommen, Temperatur, Krankheitsverlauf und Populationsdichte der Fische.

### **Saprolegnia parasitica**

Im Doubs, einem Fließgewässer an der Grenze zwischen Frankreich und der Schweiz, traten über mehrere Jahre massive Fischsterben bei verschiedenen Fischarten auf. Als einziger gemeinsamer Befund wurde ein Befall mit *Saprolegnia sp.* diagnostiziert. In der Folge traten ähnliche Sterben in weiteren Gewässern auf: Betroffen waren Fische in der Birs, der Haute-Areuse, der Versoix, der Aare und dem Rhein. Schliesslich waren im Boden- und Untersee zeitweise bis über 80 Prozent aller durch Berufsfischer in Netzen gefangener Felchen mit Pilzen befallen (Abb. 3).

Die als Erreger diagnostizierten *Saprolegnia*-Arten werden als Vertreter der Saprolegniaceae den Oomyceten zugerechnet,

galten aber früher als Pilze (Alderman 2008). Die relativ breiten, nicht septierten, sich stark verzweigenden Hyphen (Fäden) (Holliman 2001) bilden auf den betroffenen Organen ein dichtes Geflecht. Befallen werden zunächst die obersten Schichten von Haut und Kiemen. Im weiteren Verlauf der Infektion kann der Erreger aber auch in tiefere Schichten, etwa in die Muskulatur, eindringen und diese teilweise zerstören. Grossflächige Verluste der obersten Hautschichten sind eine häufige Folge des Befalles.

Der Lebenszyklus von *Saprolegnia sp.* umfasst verschiedene Entwicklungsstadien. Sowohl eine sexuelle als auch eine nicht-sexuelle Vermehrung ist bekannt (Alderman 2008). Bei der nicht-sexuellen Vermehrung, die vor allem der Verbreitung dient, bilden die Hyphen an den Spitzen Sporenbehälter (Sporangien), aus denen mit zwei Geisseln ausgerüstete Sporen entlassen werden. Diese Primärsporen können sich frei im aquatischen Milieu bewegen und sind nicht infektiös. Sie bilden jedoch eine Primärzyste, aus der sogenannte Sekundärsporen entlassen werden. Die Sekundärsporen von *Saprolegnia* verfügen über lange, hakenbewehrte

Härchen, mit denen sie sich an einem möglichen Wirt festhalten können (Beakes 1983). Bei Kontakt wird eine Sekundärzyste gebildet, aus der Hyphen ins Wirtsgewebe einwachsen. Falls die Sekundärzyste sich nicht erfolgreich anheften kann, wird wieder eine Sekundärspore gebildet. Dieser Wechsel zwischen Sekundärzyste und Sekundärspore kann mehrere Male stattfinden, bis ein geeigneter Wirt gefunden ist (Bruno & Wood 1999). Bei der sexuellen Vermehrung, welche vor allem dem Überleben bei ungünstigen Umweltbedingungen, wie Trockenheit und extreme Temperaturbedingungen, dient, verschmelzen männliche und weibliche Geschlechtsprodukte und bilden eine dickwandige Zygote, aus der sich ein neuer Organismus entwickelt.

Die Pathogenität des Erregers wird sehr kontrovers diskutiert. Einerseits gilt er als Sekundär-Erreger, der nur bereits vorgeschwächte Tiere befällt (Bruno & Wood 1999). Andererseits sind auch Massensterben bedingt durch diesen Erreger beschrieben worden (Neish & Green 1977, Whisler 1996). Das gehäufte Auftreten von solchen Massensterben in der Schweiz wirft verschiedene Fragen auf. Handelt es sich beim Verursacher der massiven Verluste der letzten Jahre um eine neue *Saprolegnia*-Art oder um eine neue genetische Variante, die besonders aggressiv und pathogen ist? Alle bisher identifizierten Isolate erwiesen sich als *Saprolegnia parasitica*, eine Art, die seit langem bekannt ist. Damit scheint die Hypothese, dass eine neue Art im Spiel ist, nicht zuzutreffen. Die Frage einer genetischen Variante hingegen ist nicht einfach zu beantworten, da dazu bisher die notwendigen Bestimmungsmethoden fehlen. Um dieser Frage nachzugehen, hat das Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin in Zusammenarbeit mit der Fachhochschule der Südschweiz ein Projekt lanciert, um einerseits eine sichere Methode für die Identifikation von *S. parasitica* zu etablieren – diese erfolgte bisher im Aus-

▼ Abbildung 4: Ausschnitt der Kiemen einer Bachforelle mit typischen Epitheliocystis-Zysten (Pfeile).

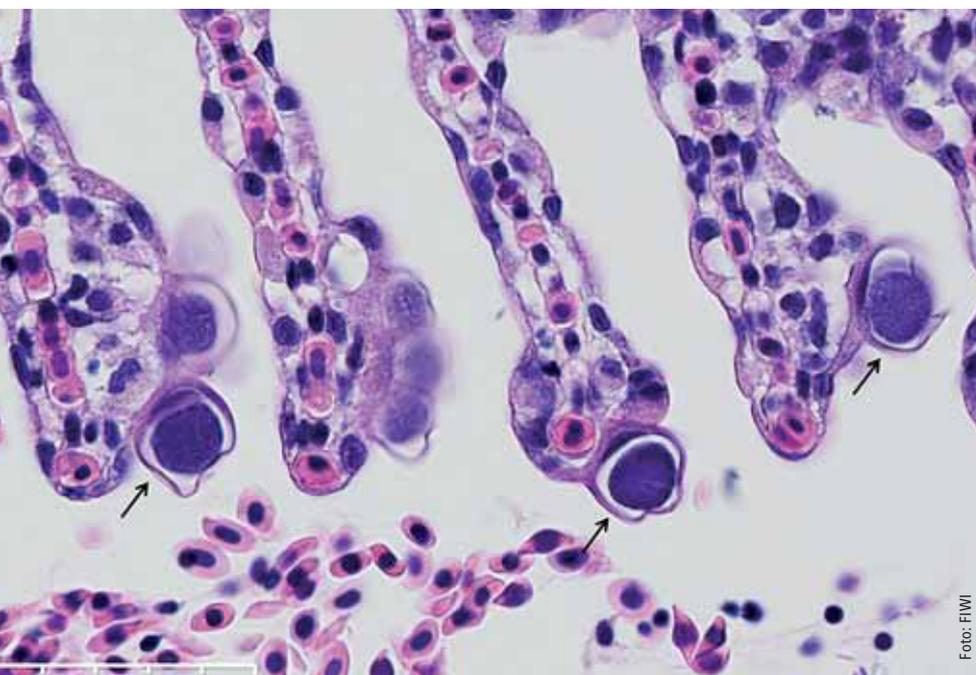


Foto: FWI

land – und andererseits den genetischen Hintergrund der Erreger zu untersuchen. Zu diesem Zweck werden molekularbiologische Methoden eingesetzt.

### Epitheliocystis

Als Epitheliocystis (abgekürzt EP) wird eine Infektionserkrankung bezeichnet, bei der bestimmte Bakterien in Epithelzellen von Kiemen und Haut von Fischen eindringen und sich dort vermehren (Abb. 4). Der Befall führt zu einem Anschwellen (Hypertrophie) der Zellen (Desser et al. 1988). Epitheliocystis ist weltweit verbreitet und wurde bisher in über 90 Fischarten sowohl in Zuchten als auch im Freiland nachgewiesen (Lewis et al. 1992). Die verursachenden Bakterien gehören vorwiegend zum Stamm der Chlamydiae, einzelne auch zu  $\gamma$ - und  $\beta$ -Proteobacterien (Katharios et al. 2015, Seth-Smith et al. 2016). Die in Salmoniden gefundenen Bakterien wurden als *Candidatus* *Piscichlamydia salmonis*, *Ca. Clavichlamydia salmonicola*, *Ca. Brachiomonas cysticola* (Karlsen et al. 2008, Draghi et al. 2004,

Toenshoff et al. 2012) und kürzlich als *Ca. Similichlamydia* sp. (Guevara Soto et al. 2016b) identifiziert («*Candidatus*» wird dem Namen einer Bakterienart vorangestellt, wenn diese Art noch nicht kultiviert werden konnte).

Während die Infektion von älteren Tieren meist ohne Probleme toleriert wird (Schmidt-Posthaus et al. 2001, Schmidt-Posthaus et al. 2012b), kann sie bei jungen Fischen zu hohen Abgängen führen (Katharios et al. 2015, Draghi et al. 2004). Untersuchungen in der Schweiz unter der Leitung des Zentrums für Fisch- und Wildtiermedizin haben Epitheliocystis sowohl in Bachforellen aus der Wildbahn als auch in Zuchten nachgewiesen (Guevara Soto et al. 2016a), wobei innerhalb desselben Flusssystems (Rhein- bzw. Rhone-Einzugsgebiet) grosse Prävalenz- und Infektions-Intensitätsunterschiede gefunden wurden. In der Vergangenheit waren hauptsächlich Jungfische im Sommer von Epitheliocystis betroffen (Schmidt-Posthaus 2001, Schmidt-Posthaus 2012b), was auf eine Temperaturabhängigkeit hinwies. Dies konnte aber in einer gross angelegten, schweizweiten Studie nicht bestätigt werden (Guevara Soto et al. 2016b). Derzeit ist noch unklar, wie Klimaveränderungen den Erreger beeinflussen (werden), und ob dadurch in bereits dezimierten Bachforellenbeständen in Schweizer Fließgewässern noch zusätzliche Probleme zu erwarten sind.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass nach heutigem Wissensstand hauptsächlich die Proliferative Nierenkrankheit und *Saprolegnia parasitica* eine Bedrohung für die einheimischen Bachforellenbestände darstellen, während der Einfluss von Epitheliocystis noch weitgehend unklar ist. ♦

### Literatur

👉 [www.aquaviva.ch/wissen/zeitschrift](http://www.aquaviva.ch/wissen/zeitschrift)

#### Dr. Nicole Strepparava

nicole.strepparava@vetsuisse.unibe.ch  
031 631 24 65

#### Dr. Heike Schmidt-Posthaus

DECVP, FVH Pathologie  
heike.schmidt@vetsuisse.unibe.ch  
031 631 24 65

#### Prof. Dr. Thomas Wahli

thomas.wahli@vetsuisse.unibe.ch  
031 631 24 61

Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin (FIWI)  
Department für Infektiöse Krankheiten und Pathobiologie  
Vetsuisse Fakultät, Universität Bern  
Länggassstrasse 122  
3012 Bern



#### Nicole Strepparava

Dr. phil. Nat., studierte Biologie an der Universität Lausanne. Es folgte das PhD in Zusammenarbeit zwischen dem Labo-

ratorio di microbiologia Applicata (Bellinzona) und dem Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin (Bern). Aktuell ist sie als PostDoc verantwortlich für einen Teil eines Sinergia-Forschungsprojektes zur Proliferativen Nierenkrankheit bei Forellen am Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin (FIWI).



#### Heike Schmidt-Posthaus

Dr. med. vet., studierte in Hannover Veterinärmedizin. Danach arbeitete sie als wissenschaftliche Mit-

arbeiterin an der Klinik für Vögel, Reptilien, Amphibien und Fische in Giessen. Es folgte der Wechsel zum Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin der Universität Bern, Spezialisierung zum Fachtierarzt für Pathologie und zum Diplomate European College of Veterinary Pathology. Aktuell ist sie Leiterin der Diagnostik für Fische mit Aufgaben in der Diagnostik, Forschung und Lehre.



#### Thomas Wahli

Prof. Dr. phil. Nat., studierte Biologie an der Universität Basel. Danach folgten verschiedene Funktionen am Zentrum für

Fisch- und Wildtiermedizin unterbrochen von Auslandsaufenthalt in England. Aktuell ist er Leiter der Nationalen Fischuntersuchungsstelle (NAFUS) mit Aufgabenbereich Lehre, Forschung und Diagnostik.

## Literatur

- Alderman DJ. (2008): Fungal Diseases of Fish Enfield (NH), USA: Science Publishers.
- Beakes G. (1983): A comparative account of cyst coat ontogeny in saprophytic and fish-lesion (pathogenic) isolates of the *Saprolegnia diclina* – parasitica complex. Canadian Journal of Botany, 61:603–625.
- Bettge K., Wahli T., Segner H. & Schmidt-Posthaus H. (2009): Proliferative kidney disease in rainbow trout: time- and temperature-related renal pathology and parasite distribution. Dis Aquat Organ, 83:67–76.
- Bruno DW. & Wood BP. (1999): *Saprolegnia* and other Oomycetes. Wallingford, Owon, United Kingdom: CABI Publishing.
- Burkhardt H., Burkhardt Holm P., Giger W., Guttinger H., Ochsenbein U., Peter A. et al. (2005): Where Have All the Fish Gone? Environmental science & technology, 39:441A–447A.
- Burkhardt-Holm P. (2008): Decline of brown trout (*Salmo trutta*) in Switzerland – how to assess potential causes in a multi-factorial cause-effect relationship. Mar Environ Res, 66:181–182.
- Dash M. & Vasemagi A. (2014): Proliferative kidney disease (PKD) agent *Tetracapsuloides bryosalmonae* in brown trout populations in Estonia. Dis Aquat Organ, 109:139–148.
- Desser S., Paterson W. & Steinhagen D. (1988): Ultrastructural Observations on the Causative Agent of Epitheliocystis in the Brown Bullhead, *Ictalurus-Nebulosus* Lesueur, from Ontario and a Comparison with the Chlamydiae of Higher Vertebrates. Journal of Fish Diseases, 11:453–460.
- Draghi A., 2nd, Popov VL., Kahl MM., Stanton JB., Brown CC., Tsongalis GJ. et al. (2004): Characterization of «*Candidatus piscichlamydia salmonis*» (order Chlamydiales), a chlamydia-like bacterium associated with epitheliocystis in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). J Clin Microbiol, 42:5286–5297.
- Guevara Soto M., Vidondo B., Vaughan L., Seth-Smith HM., Nufer L., Segner H. et al. (2016a): The emergence of epitheliocystis in the upper Rhone region: evidence for Chlamydiae in wild and farmed salmonid populations. Arch Microbiol. 198:315–324.
- Guevara Soto M., Vaughan L., Segner H., Wahli T., Vidondo B. and Schmidt-Posthaus H. (2016b) Epitheliocystis Distribution and Characterization in Brown Trout (*Salmo trutta*) from the Headwaters of Two Major European Rivers, the Rhine and Rhone. Front. Physiol. 7:131. doi: 10.3389/fphys.2016.00131
- Hari RE., Livingstone DM., Siber R., Burkhardt-Holm P. & Guttinger H. (2006): Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. Global Change Biology, 12:10–26.
- Hedrick RP, MacConnell E. & de Kinkelin P. (1993): Proliferative Kidney Disease of Salmonid Fish. Annual Rev. of Fish Diseases, 7:277–290.
- Holliman A. (2001): Fungal diseases and harmful algae British small animal veterinary association.
- Karlsen M., Nylund A., Watanabe K., Helvik JV., Nylund S. & Plarre H. (2008): Characterization of '*Candidatus* Clavochlamydia salmonicola': an intracellular bacterium infecting salmonid fish. Environ Microbiol, 10:208–218.
- Katharios P., Seth-Smith HM., Fehr A., Mateos JM., Qi W., Richter D. et al. (2015): Environmental marine pathogen isolation using mesocosm culture of sharpnose seabream: striking genomic and morphological features of novel *Endozoicomonas* sp. Sci Rep, 5:17609.
- Korner O., Vermeirssen ELM. & Burkhardt-Holm P. (2007): Reproductive health of brown trout inhabiting Swiss rivers with declining fish catch. Aquatic Sciences, 69:26–40.
- Lewis EJ., Mclaughlin SM., Bodammer JE. & Sawyer TK. (1992): Epitheliocystis in 10 New Host Species of Marine Fish. Journal of Fish Diseases, 15:267–271.
- Mo TA., Kaada I., Joranlid AK. & Poppe TT. (2011): Occurrence of *Tetracapsuloides bryosalmonae* in the kidney of smolts of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and sea trout (*S. trutta*). Bulletin of the European Association of Fish Pathologists, 31:151–155.
- Neish GA. & Green BR. (1977): Fractionation of *Saprolegnia diclina* (Oomycetes) satellite DNAs by AgNO<sub>3</sub>/Cs<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> density gradient centrifugation. Biochim Biophys Acta, 479:411–415.
- Nesnidal MP., Helmkampf M., Bruchhaus I., El-Matbouli M. & Hausdorf B. (2013): Agent of whirling disease meets orphan worm: phylogenomic analyses firmly place Myxozoa in Cnidaria. PLoS One, 8:e54576.
- Schmidt-Posthaus H., Bernet D., Wahli T. & Burkhardt-Holm P. (2001): Morphological organ alterations and infectious diseases in brown trout *Salmo trutta* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* exposed to polluted river water. Diseases of Aquatic Organisms, 44:161–170.
- Schmidt-Posthaus H., Bettge K., Forster U., Segner H. & Wahli T. (2012a): Kidney pathology and parasite intensity in rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* surviving proliferative kidney disease: time course and influence of temperature. Dis Aquat Organ, 97:207–218.
- Schmidt-Posthaus H., Polkinghorne A., Nufer L., Schifferli A., Zimmermann DR., Segner H. et al. (2012b): A natural freshwater origin for two chlamydial species, *Candidatus* Piscichlamydia salmonis and *Candidatus* Clavochlamydia salmonicola, causing mixed infections in wild brown trout (*Salmo trutta*). Environmental Microbiology, 14:2048–2057.
- Seth-Smith HM., Dourala N., Fehr A., Qi W., Katharios P., Ruetten M. et al. (2016): Emerging pathogens of gilthead seabream: characterisation and genomic analysis of novel intracellular beta-proteobacteria. ISME J.
- Skovgaard A. & Buchmann K. (2012): *Tetracapsuloides bryosalmonae* and PKD in juvenile wild salmonids in Denmark. Dis Aquat Organ, 101:33–42.
- Toenshoff ER., Kvellestad A., Mitchell SO., Steinum T., Falk K., Colquhoun DJ. et al. (2012): A novel betaproteobacterial agent of gill epitheliocystis in seawater farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). PLoS One, 7:e32696.
- Wahli T., Knuesel R., Bernet D., Segner H., Pugovkin D., Burkhardt-Holm P. et al. (2002): Proliferative kidney disease in Switzerland: current state of knowledge. Journal of Fish Diseases, 25:491–500.
- Wahli T., Bernet D., Steiner PA. & Schmidt-Posthaus H. (2007): Geographic distribution of *Tetracapsuloides bryosalmonae* infected fish in Swiss rivers: an update. Aquatic Sciences, 69:3–10.

- Wahli T., Bernet D., Segner H. & Schmidt-Posthaus H. (2008): Role of altitude and water temperature as regulating factors for the geographical distribution of *Tetracapsuloides bryosalmonae* infected fishes in Switzerland. *Journal of Fish Biology*, 73:2184–2197.
- Whisler HC. (1996): Identification of *Saprolegnia* spp. Pathogenic in Chinook Salmon. In. Washington, D.C. pp. 43.
- Zimmerli S., Bernet D., Burkhardt-Holm P., Schmidt-Posthaus H., Vonlanthen P., Wahli T. et al. (2007): Assessment of fish health status in four Swiss rivers showing a decline of brown trout catches. *Aquatic Sciences*, 69:11–25.